



TUGAS AKHIR - TL 091584

**PENGARUH PENAMBAHAN TAPIOKA PADA INHIBITOR
EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (*Psidium guajava* L.)
TERHADAP EFISIENSI INHIBISI KOROSI BAJA API 5L
GRADE B PADA LINGKUNGAN pH 4 DAN pH 7**

IFTITAHUL FARIHA YULIARTI
NRP. 2712 100 089

DOSEN PEMBIMBING
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT - TL 091584

EFFECT OF TAPIOCA STARCH ADDITION TO *Psidium guajava* L. LEAF EXTRACT ON THE CORROSION INHIBITION EFFICIENCY OF API 5L GRADE B STEEL IN SOLUTION WITH pH 4 AND pH 7

IFTITAHUL FARIHA YULIARTI
NRP. 2712 100 089

ADVISOR
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

**PENGARUH PENAMBAHAN TAPIOKA PADA
INHIBITOR EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (*Psidium
guajava L.*) TERHADAP EFISIENSI INHIBISI KOROSI
BAJA API 5L GRADE B PADA LINGKUNGAN pH 4 DAN
pH 7**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IFTITAHUL FARIHA YULIARTI
NRP. 2712 100 089

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



**PENGARUH PENAMBAHAN TAPIOKA PADA INHIBITOR
EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (*Psidium guajava L.*)
TERHADAP EFISIENSI INHIBISI KOROSI BAJA API 5L
GRADE B PADA LINGKUNGAN pH 4 DAN pH 7**

Nama : Iftitahul Fariha Yuliarti
NRP : 2712 100 089
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstrak

Korosi didefinisikan sebagai hasil kerusakan dari reaksi kimia antara logam dengan lingkungannya. Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara menghambat laju korosi. Ekstrak daun jambu biji dan tapioka merupakan bahan organik yang dapat digunakan sebagai inhibitor. Untuk mengetahui kinerja inhibitor, dilakukan pengujian *weight loss* yang menunjukkan persen inhibisi tertinggi untuk pH 4 adalah 50,54% pada konsentrasi 1035 ppm dan waktu perendaman 2 minggu. Sedangkan untuk pH 7, persen inhibisi tertinggi adalah 79,32% pada konsentrasi 2035 ppm dan waktu perendaman 1 minggu. Untuk mengetahui mekanisme inhibisi, dilakukan pengujian tafel, EIS, FTIR, dan perhitungan isotherm adsorpsi. Hasil uji tafel dan EIS menunjukkan bahwa inhibitor membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menghambat laju korosi baja API 5 L *grade B* pada pH 4. Sedangkan pada pH 7, hasil pengujian menunjukkan bahwa inhibitor bekerja dengan cara mengganggu reaksi anodik dan katodik, sehingga inhibitor termasuk jenis inhibitor campuran yang melibatkan reaksi adsorpsi. Uji FTIR membuktikan bahwa terjadi adsorpsi antara inhibitor dengan permukaan sampel, yang merupakan jenis fisisorpsi.

Kata kunci: Korosi, Inhibitor, Ekstrak Daun Jambu Biji, Tapioka, *Weight Loss*, Tafel, EIS

EFFECT OF TAPIOCA STARCH ADDITION TO *Psidium guajava* L. LEAF EXTRACT ON THE CORROSION INHIBITION EFFICIENCY OF API 5L GRADE B STEEL IN SOLUTION WITH pH 4 AND pH 7

Name : Iftitahul Fariha Yuliarti
NRP : 2712 100 089
Major : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstract

Corrosion is the destruction process of materials because of the reaction with the environment. Inhibitor is one of methods to decrease the corrosion rate. Psidium guajava L. leaf extract and tapioca are natural products that can be used as corrosion inhibitor. To determine the efficiency of this mixed inhibitor, the weight loss test was done. The highest inhibition efficiency in solution with pH 4 is 50.54% with addition of 1035 ppm inhibitor and 2 weeks immersion time. Besides, the highest efficiency in solution with pH 7 is 79.32% with addition of 2035 ppm inhibitor and 1 week immersion time. Furthermore, the inhibition mechanism was studied from the result of Tafel, EIS, FTIR, and adsorption isotherm calculation. The result of tafel and EIS test showed that the inhibitor needs longer time of immersion to decrease the corrosion rate of API 5L grade B steel in solution with pH 4. However, in solution with pH 7, the result of the test showed that the inhibitor acts as mixed-type corrosion inhibitor which disturbs both of anodic and cathodic reaction. The adsorption process was involved which was also confirmed by the result of FTIR test. Adsorption isotherm calculation showed that the adsorption occurred was physisorption.

Keywords: Corrosion, Inhibitor, *Psidium guajava* L. Leaf Extract, Tapioca Starch, Weight Loss, Tafel, EIS

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas karunia, nikmat, dan kemudahan yang diberikan pada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

**”PENGARUH PENAMBAHAN TAPIOKA PADA INHIBITOR
EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (*Psidium guajava* L.)
TERHADAP EFISIENSI INHIBISI KOROSI BAJA API 5L
GRADE B PADA LINGKUNGAN pH 4 DAN pH 7”**

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi – Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua dan adik penulis, Bapak Budiharto dan Ibu Istiqomah, serta Fahrizal Azi Ferdiansyah yang selalu mencurahkan kasih sayang, doa, semangat, dan canda tawa kepada penulis.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta wawasan kepada penulis.
4. Ibu Vania Mitha P, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang memberikan bimbingan dan ilmu kepada penulis.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, yang telah

memberikan bimbingan dan arahan selama kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.

6. Bapak Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
7. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama kuliah.
8. Dosen penguji dalam sidang tugas akhir yang telah memberi banyak saran dan arahan.
9. Mbak Iis selaku operator XRD dan FTIR di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS yang telah membantu penulis dalam kelancaran pengujian.
10. Seluruh dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
11. Indah Amalia dan Hastya Anisa Rufaida yang telah membantu dari berbagai aspek sebagai *partner* penulis dalam mengerjakan dan menyusun laporan Tugas Akhir.
12. Widia Anggia Vicky, Vini Nur Rachmawati, Dayu Sarifah, Muhammad Fadhil, dan Rinda Meylia W., yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
13. Abdur Rouf yang telah bersedia menjadi teman diskusi penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
14. Keluarga besar MT 14 dan Bebski-bebski MT 14 yang selalu membagi semangat dan kebahagiaan.
15. Seluruh anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
16. Seluruh pihak yang tidak mampu penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu kelancaran Tugas Akhir ini. Terima kasih banyak atas segala dukungannya. Semoga Allah SWT membalas dengan balasan terbaik. Aamiin.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Namun, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	2
I.4. Tujuan Penelitian	3
I.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Baja API 5L	5
II.2 Prinsip Dasar Korosi.....	6
II.3 Penghitungan Laju Korosi	7
II.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.....	10
II.5 Inhibitor Korosi	11
II.5.1 Jenis Inhibitor Korosi	12
II.5.2 Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Organik.....	14
II.5.3 Isoterm Adsorpsi	15
II.5.4 Penghitungan Persen Inhibisi	16
II.6 Daun Jambu Biji (<i>Psidium guajava</i>).....	16
II.6.1 Tanin pada Daun Jambu Biji.....	16
II.6.2 Proses Ekstraksi Tanin dari Daun Jambu Biji.....	19
II.7 Tapioka	20
II.8 Reaksi antara Tanin dan Polisakarida.....	23
II.9 Penelitian Sebelumnya.....	24
II.9.1 Ekstrak Daun Jambu Biji	24
II.9.2 Tapioka sebagai Inhibitor Korosi.....	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir.....	27
III.2 Alat dan Bahan	27
III.3 Prosedur Penelitian.....	29
III.3.1 Preparasi Spesimen Baja API 5L	29
III.3.2 Preparasi Larutan Rendam	30
III.3.3 Preparasi Inhibitor.....	31
III.3.4 Langkak Kerja Perendaman	34
III.4 Pengujian Kadar Tanin dalam Ekstrak Daun Jambu Biji ...	35
III.5 Pengujian Laju Korosi	36
III.5.1 Metode <i>Weight Loss</i>	36
III.5.2 Pengujian Polarisasi Linear (Tafel).....	37
III.6 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	38
III.7 Pengujian <i>X-Rays Diffraction</i> (XRD)	38
III.8 Pengujian <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	39
III.9 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian.....	40

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Pengujian	43
IV.1.1 Hasil Pengujian Spektrometer	43
IV.1.2 Hasil Pengujian Kadar Tanin.....	43
IV.1.3 Hasil Pengujian FTIR pada Inhibitor.....	43
IV.1.3.1Hasil Pengujian FTIR Ekstrak Daun jambu Biji.	45
IV.1.3.2Hasil Pengujian FTIR Tapioka.....	47
IV.1.4 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	49
IV.1.5 Hasil Pengujian XRD	57
IV.1.6 Hasil Pengujian FTIR Sampel Rendam	59
IV.1.7 Hasil Pengujian Tafel.....	61
IV.1.8 Hasil Pengujian EIS.....	63
IV.1.9 Mekanisme Adsorpsi	67
IV.2 Pembahasan	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	77
V.2 Saran	77

DAFTAR PUSTAKA	79
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	85
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Polarisasi Tafel	9
Gambar 2.2 Senyawa Tanin	17
Gambar 2.3 Struktur Inti Tanin	18
Gambar 2.4 Struktur Molekul Fe-Tannat	19
Gambar 2.5 Diagram Alir Pembuatan Tepung Tapioka.....	21
Gambar 2.6 Struktur Molekul (a) Amilosa (b) Amilopektin.....	22
Gambar 2.7 Gugus Kimia pada Senyawa Fenolik (a) Gugus Hidroksil dan (b) Gugus Hidrokarbon Aromatik.....	23
Gambar 2.8 Struktur Kimia Fenol.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan.....	27
Gambar 3.2 Spesimen Uji <i>Weight Loss</i>	30
Gambar 3.3 Daun Jambu Biji yang Telah Dibersihkan.....	31
Gambar 3.4 Serbuk Daun Jambu Biji.....	32
Gambar 3.5 Proses Maserasi Menggunakan Pelarut Etanol:Aquades 50:50.....	32
Gambar 3.6 Ekstrak Daun Jambu Biji.....	33
Gambar 3.7 Tapioka yang Digunakan.....	33
Gambar 3.8 Inhibitor Campuran Ekstrak Daun Jambu Biji dan Tapioka	34
Gambar 3.9 Proses Perendaman Spesimen	35
Gambar 3.10 Kurva Polarisasi Tafel	37
Gambar 3.11 Alat Uji XRD.....	39
Gambar 3.12 Alat Uji FTIR	39
Gambar 4.1 Hasil Uji FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji, Tapioka, dan Campuran Keduanya.....	44
Gambar 4.2 Ikatan gugus fungsi Tanin	46
Gambar 4.3 Ikatan Gugus Fungsi Amilosa dan Amilopektin	47
Gambar 4.4 Sampel Baja API 5L Grade B (a) Sebelum dan (b) Sesudah Perendaman.....	50
Gambar 4.5 (a) Larutan pH 4 dan (b) pH 7 dengan Penambahan Inhibitor Sebelum Perendaman	51
Gambar 4.6 Larutan (a) pH 4 dan (b) pH 7 dengan Penambahan Inhibitor setelah Perendaman	52

Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja API 5L pada Lingkungan pH 4 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman	53
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor terhadap Persen Inhibisi pada Lingkungan pH 4 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman.....	54
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja API 5L pada Lingkungan pH 7 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman	55
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor terhadap Persen Inhibisi pada Lingkungan pH 7 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman.....	55
Gambar 4.11 Hasil Pengujian XRD Sampel Rendam pada pH 4 dan pH 7 (a) Tanpa Inhibitor dan (b) dengan Inhibitor	58
Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Uji FTIR Permukaan Sampel Rendam dan Inhibitor.....	60
Gambar 4.13 Hasil Kurva Tafel API 5 L Grade B (a) pada pH 4 (b) pada pH 7.....	62
Gambar 4.14 Kurva Nyquist untuk Baja API 5L Grade B pada (a) pH 4 dan (b) pH 7	64
Gambar 4.15 <i>Equivalent Circuit</i> Hasil Pengujian EIS	65
Gambar 4.16 Kurva Isoterm Adsorpsi (a) Langmuir dan (b) Freundlich untuk pH 4 dan pH 7.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Pipa API 5L Grade B	5
Tabel 2.2 Material dan Spesifikasi Pipa API 5 L	5
Tabel 2.3 Derajat Laju Korosi	9
Tabel 2.4 Harga Efisiensi Inhibitor Tapioka pada <i>Aluminium Alloy 60611</i>	25
Tabel 3.1 Komposisi Baja API 5L Grade B	28
Tabel 3.2 Parameter Pengujian Tafel	38
Tabel 3.3 Hasil Hasil Uji <i>Weight Loss</i>	40
Tabel 3.4 Tabel Hasil Uji Tafel	41
Tabel 3.5 Tabel Hasil Pengujian EIS	41
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	43
Tabel 4.2 Analisis Kesamaan <i>Wavenumbers</i> pada Hasil Uji FTIR Inhibitor	45
Tabel 4.3 Hasil Analisis Ikatan Gugus Fungsi Ekstrak Daun Jambu Biji	46
Tabel 4.4 Hasil Analisis Ikatan Gugus Fungsi Tapioka	48
Tabel 4.5 Kategori Laju Korosi dengan Penambahan Konsentrasi Inhibitor pada pH 4 dan pH 7	56
Tabel 4.6 Analisis Kesamaan <i>Wavenumbers</i> pada Hasil Uji FTIR Sampel Rendam dan Inhibitor	60
Tabel 4.7 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja API 5 L Grade B pada pH 4 dan 7	61
Tabel 4.8 Hasil Analisis Pengujian EIS	66
Tabel 4.9 Nilai Energi Bebas Adsorpsi (ΔG) Baja API 5 L pada Lingkungan pH 4 dan pH 7 dengan Penambahan Inhibitor	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Korosi didefinisikan sebagai hasil kerusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduannya dengan lingkungannya. Korosi merupakan proses alami yang tidak akan pernah berhenti atau akan terus terjadi selama material logam tersebut mengalami kontak dengan lingkungannya. Akan tetapi, proses korosi dapat diminimalisasi, dikendalikan atau diperlambat lajunya dengan memperlambat proses perusakannya.

Banyak faktor yang dapat meningkatkan laju korosi suatu material, beberapa di antaranya adalah pH dan konsentrasi zat terlarut dalam suatu larutan, yang menyebabkan semakin banyaknya ion bebas dalam larutan tersebut. Pada air laut, ion-ion klorida dapat menjadi sumber kerusakan material karena terjadinya korosi. Oleh karena itulah, laju korosi perlu dikendalikan agar tidak memperbesar kerugian.

Salah satu metode yang banyak dilakukan dalam penanggulangan korosi ialah penambahan inhibitor. Namun, inhibitor yang ada saat ini umumnya beracun dan tidak ramah lingkungan. Dewasa ini seiring dengan banyaknya usaha yang dilakukan tentang lingkungan hidup, maka berkembanglah penelitian mengenai bahan alam sebagai inhibitor organik dalam fluida yang korosif. Beberapa ekstrak tanaman mengandung sejumlah senyawa organik seperti tannins, alkaloids, saponins, asam amino pigment, dan protein yang memiliki kemampuan mengurangi laju korosi (Martinez dan Stern, 2001; Martinez, 2002; Kosar et al., 2005; Oguzie et al, 2006). Madu dilaporkan memiliki kemampuan yang baik sebagai inhibitor korosi pada *carbon steel* dalam *saline water* (A.Y. Etre dan M. Abdallah, 2000). Tapioka dapat meningkatkan ketahanan korosi aluminium alloy AA6061 dalam air laut (R.Rosliza dan W.B. Wan Nik, 2009).



Sifat tepung tapioka yang tidak beracun, *biodegradable*, serta memiliki kelarutan yang baik dalam air (R.Rosliza dan W.B. Wan Nik, 2009), ditambah dengan melimpahnya bahan baku serta proses pembuatan yang sederhana merupakan potensi besar untuk diteliti. dikembangkan lebih lanjut, lalu diaplikasikan sebagai inhibitor pada sistem perpipaan air laut.

Jambu biji (*Psidium guajava* L.) merupakan tanaman penghasil buah yang banyak terdapat di Indonesia. Tanaman ini memiliki banyak manfaat, salah satunya pada bagian daunnya yang mengandung senyawa tanin. Tanin kaya akan senyawa polifenol yang mampu menghambat proses oksidasi sehingga laju korosi dapat menurun. Daun jambu biji juga mengandung zat lain seperti minyak atsiri, asam ursolat, asam psidiolat, asam kratogolat, asam oleanolat asam guajaverin dan vitamin.

Berdasarkan hal diatas, dalam penelitian kali ini dilakukan penambahan tapioka pada ekstrak daun jambu biji (*Psidium guajava* L.) yang bertujuan untuk menganalisis efektifitas dan performa proteksi korosinya.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan tapioka pada inhibitor ekstrak daun jambu biji terhadap efisiensi inhibisi korosi baja API 5L Grade B di lingkungan pH 4 dan pH 7?
2. Bagaimana mekanisme kerja inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka di lingkungan pH 4 dan pH 7?

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Material baja API 5L Grade B dianggap homogen dan bebas cacat.



2. Tidak ada perubahan yang terjadi pada temperatur, volume larutan, dan aliran.
3. Kehalusan permukaan tiap spesimen dianggap homogen.
4. Komposisi lain yang terkandung di dalam ekstrak daun jambu biji dan tapioka diasumsikan tidak berpengaruh
5. Daun jambu biji yang digunakan diasumsikan homogen.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan tapioka pada inhibitor ekstrak daun jambu biji terhadap efisiensi inhibisi korosi baja API 5L Grade B di lingkungan pH 4 dan pH 7.
2. Menganalisis mekanisme kerja inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka di lingkungan pH 4 dan pH 7.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai ekonomis daun jambu biji dan tapioka.
2. Mempelajari korosi oleh adanya variasi pH dan konsentrasi seperti yang biasa terdapat pada pipa *oil* dan *gas*.
3. Dapat dijadikan referensi mengenai kombinasi penggunaan kombinasi campuran inhibitor terhadap laju korosi pada pipa.
4. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya tentang penggunaan kombinasi campuran inhibitor.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Baja API 5L

Penggunaan logam paduan sangat banyak ditemukan dalam dunia industri. Hal ini disebabkan logam paduan memiliki kualitas yang lebih baik karena mempunyai sifat-sifat yang merupakan kombinasi dari sifat logam-logam penyusunnya. Jenis logam paduan yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah baja. Dalam industri minyak dan gas, aplikasi baja banyak ditemukan dalam pipa yang digunakan, yaitu pipa baja jenis API 5L *Grade B*. Oleh sebab itulah, pada penelitian ini digunakan material baja karbon API 5L *grade B* dengan spesifikasi pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Pipa API 5 L *Grade B*
(*Sumber: Specification for Line Pipe*)

Elemen	Carbon	Mangan	Phospor	Sulfur	Titanium
Kadar (%)	0.22	1.2	0.025	0.015	0.04

Tabel 2.2 Material dan Spesifikasi Pipa API 5 L (*API Specification for Line Pipe Book, tabel 5 and 7*)

Standard Specifictat ion	Chemical Composition (%)						Mechanical Strength	
	Grade	Application	C	Mn	P	S	Yield Strength	Ultimate Tensile
			max	max	max	max	(N/mm ²)	Strength (N/mm ²)
API 5L	A 25	Oil & Gas Line Pipe	0,21	0,6	0,03	0,03	175	310
	A 25		0,22	0,9	0,03	0,03	210	335
	B		0,26	1,2	0,03	0,03	245	415
	X 42		0,26	1,3	0,03	0,03	290	515
	X 46		0,26	1,4	0,03	0,03	320	435
	X 52		0,26	1,4	0,03	0,03	360	460
	X 56		0,26	1,4	0,03	0,03	390	490
	X 60		0,26	1,4	0,03	0,03	415	520
	X 65		0,26	1,45	0,03	0,03	450	535
	X 70		0,26	1,65	0,03	0,03	485	530



Apabila dilihat dari kandungan karbonnya, baja API 5L Grade B termasuk dalam kategori baja karbon rendah, yang memiliki kadar karbon tertinggi sebesar 0,25% (Wardoyo, 2005).

II.2. Prinsip dasar Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Priest, 1992). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses degradasi / deteriorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Yang dimaksud dengan lingkungan sekelilingnya dapat berupa udara, air tawar, air laut, larutan dan tanah yang bersifat elektrolit (Ali, dkk, 2014). Korosi merupakan proses alami yang tidak akan pernah berhenti atau akan terus terjadi selama material logam tersebut mengalami kontak dengan lingkungannya (F.Civan, 2001).

Terdapat 4 syarat atau komponen yang harus dilengkapi agar suatu reaksi korosi dapat terjadi, yaitu:

1. Katoda, yaitu material yang mengalami reaksi reduksi karena memiliki potensial yang lebih positif. Reaksi katodik pada korosi logam antara lain (Groisman, 2010):
 - a. Reduksi oksigen (asam) :

$$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad (2.1)$$
 - b. Reduksi oksigen (basa) :

$$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \leftrightarrow 4\text{OH}^- \quad (2.2)$$
 - c. Evolusi hidrogen (asam) :

$$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2 \quad (2.3)$$
 - d. Evolusi hidrogen (basa) :

$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- \quad (2.4)$$
 - e. Deposisi logam :

$$\text{M}^{2+} + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{M} \quad (2.5)$$
 - f. Reduksi ion logam :

$$\text{M}^{3+} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{M}^{2+} \quad (2.6)$$
2. Anoda, yaitu material yang mengalami reaksi oksidasi dan mengalami kehilangan material (*loss material*) karena



memiliki nilai potensial yang lebih negatif. Reaksi anodik pada korosi logam antara lain (Groisman, 2010):

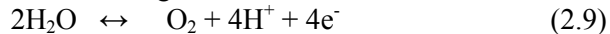
a. Korosi logam :



b. Oksidasi ion ferrous :



c. Evolusi oksigen :



3. Larutan elektrolit sebagai media penghantar arus listrik. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik (Hakim, 2011).
4. Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

II.3. Penghitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya logam yang lepas tiap satuan waktu pada permukaan logam tersebut. Laju korosi ini biasanya dinyatakan dalam satuan *mils per year* (mpy) (Paksi, 2015).

Penghitungan laju korosi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui kecepatan suatu material untuk terkorosi, sehingga dapat diprediksi kapan material tersebut mulai terkorosi, berapa lama umur pakai material, serta dapat diketahui evaluasi dan variasi kontrol lingkungan untuk dapat melindungi material tersebut dari korosi (Jones, 1996). Metode penghitungan laju korosi yang paling banyak digunakan adalah metode *weight loss*.

Metode *weight loss* adalah metode perhitungan laju korosi yang menggunakan massa sampel sebagai data. Data yang dibutuhkan adalah massa sampel saat sebelum pengujian dan massa sampel setelah pengujian, sehingga dapat diperoleh selisih massa yang kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi



dengan menggunakan persamaan (2.10) sebagai berikut (ASTM G1-03):

$$\text{Laju Korosi} = K \frac{W}{DAT} \quad (2.10)$$

keterangan :

K = konstanta

W = selisih massa atau massa yang hilang (gram)

D = densitas logam (gram/cm^3)

A = luas permukaan specimen yang terendam (cm^2)

T = waktu (jam)

Nilai konstanta tergantung pada unit satuan laju korosi yang digunakan, untuk unit satuan mpy (*mils per year*), dengan 1 mils setara dengan 0,001 inchi, nilai konstanta yang digunakan adalah sebesar $3,45 \times 10^6$ (ASTM G1-03). Semakin tinggi nilai laju korosi, semakin cepat suatu logam terkorosi. Pengujian *weight loss* menggunakan standar ASTM G 31-72.

Laju korosi juga dapat dihitung dengan menggunakan metode tafel. Metode pengujian dengan cara Tafel banyak diaplikasikan untuk mengukur laju korosi pada media uji secara cepat. Metode Tafel dipelajari dari kurva Tafel seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Pada logam yang kontak dengan medium korosif mengakibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi pada logam tersebut. Dalam logam akan terbentuk situs-situs mikrosel katodik maupun mikrosel anodik sehingga akan dihasilkan arus, baik dari katodik maupun anodik. Arus yang terjadi menghasilkan potensial yang disebut potensial korosi, E_{corr} , dimana potensial daerah anoda sama dengan potensial daerah katoda. Parameter elektrokimia yang diperoleh dari pengukuran polarisasi ini adalah E_{corr} (potensial korosi), R_p (tahanan polarisasi), b_a (gradien tafel anodik) dan b_c (gradien tafel katodik). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menentukan rapat arus korosi (i_{corr}) melalui persamaan Stern-Gerry:

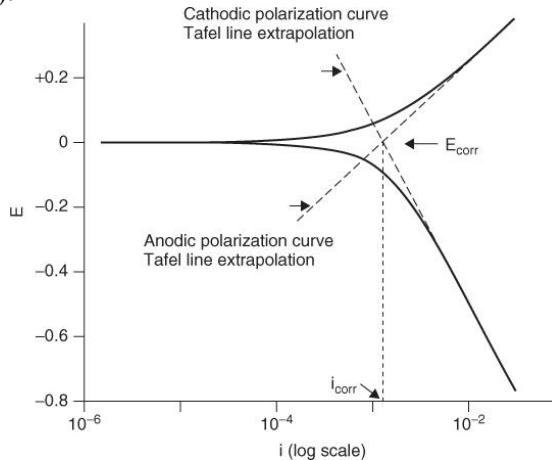
$$i_{corr} = \frac{b_a b_c}{2,303(b_a + b_c)} \frac{1}{R_p} \quad (2.11)$$



Selanjutnya laju korosi ditentukan dengan menggunakan persamaan (ASTM G3-1989):

$$V_{corr} = 3,27 \times 10^{-5} \frac{Ae}{\rho} i_{corr} \quad (2.12)$$

Dengan Ae adalah masa ekuivalen logam ($\text{g.mol}^{-1}.\text{ek}^{-1}$), ρ adalah masa jenis logam (g.cm^{-3}), dan i_{corr} adalah rapat arus korosi ($\mu\text{A/cm}^2$).



Gambar 2.1 Kurva Polarisasi Tafel

Dari hasil perhitungan laju korosi, maka dapat diketahui derajat laju korosi sesuai dengan kriteria pada tabel *relative corrosion resistance* berikut ini:

Tabel 2.3 Derajat Laju Korosi (Jones, 1996)

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	mpy	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	mm/h	pm/s
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
<i>Excellent</i>	1-5	0,02-1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+



II.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi dalam sistem elektrolit larutan (*aqueous*) diantaranya adalah:

1. Komponen Ion larutan dan Konsentrasinya

Konsentrasi larutan menyatakan jumlah zat terlarut dalam setiap satuan larutan atau pelarut. Dalam sebuah larutan dengan konsentrasi tertentu, zat penyusun larutan tersebut akan terurai menjadi ion-ion (baik berupa kation maupun anion) pembentuknya. Ion-ion ini akan menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang terdistribusi didalam larutan tersebut. Sehingga didalam larutan tersebut ini akan menghasilkan nilai konduktivitas yang dimana nilai konduktivitas ini sebanding dengan konsentrasi zat yang terlarut didalam larutan.

Konduktivitas dari suatu larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda ini akan menentukan kecepatan dari reaksi elektrokimia tersebut. Larutan dengan konduktivitas yang baik akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat sehingga akan meningkatkan laju korosi (Hakim, 2011).

2. pH (Tingkat Keasaman)

Nilai pH larutan berkaitan dengan jumlah ion H^+ yang terlarut dalam larutan tersebut. Nilai pH berbanding terbalik dengan konsentrasi ion H^+ di dalam larutan. Semakin rendah nilai pH menunjukkan semakin banyaknya jumlah ion H^+ yang terlarut. Akibat adanya peningkatan konsentrasi H^+ ini, elektron (e^-) yang berasal dari reaksi anodik akan berikatan dengan ion H^+ , sehingga jumlah ion positif logam yang dilepaskan untuk menyeimbangkan kelebihan muatan positif akan semakin tinggi. Hal ini dapat meningkatkan arus batas katodik sehingga laju pelarutan logam semakin tinggi (Santoso, 2011).



3. Kadar Oksigen

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi) (Hakim, 2011).

4. Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi (Yanpieter, 2011).

5. Kecepatan (pergerakan fluida)

Kecepatan aliran fluida yang tinggi di atas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang disebut erosi. Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi. Jika hal ini terjadi maka proses ini disebut korosi erosi (Damastuti, 2014).

II.5. Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah substansi kimia yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke lingkungan, memberikan efek memeriksa, menurunkan, atau melindungi reaksi antara logam dengan lingkungannya (Nathan, 1979). Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia (Dalimuthe, 2004). Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam. Pada prakteknya, jumlah yang di tambahkan adalah



sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu (Gumelar, 2011).

II.5.1 Jenis Inhibitor Korosi

Berdasarkan mekanisme kerjanya, inhibitor korosi dapat dibagi menjadi 5 jenis, yaitu (Gumelar, 2011):

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik membuat logam menjadi terpolarisasi ke arah anodic sehingga berada pada daerah pasif yang membuat suatu lapisan pasif di permukaan logam sehingga laju korosi dapat menurun. Terdapat dua tipe inhibitor anodik, yakni:

- *Oxidizing anions*, seperti kromat, nitrat, dan nitrit yang dapat membuat lapisan pasif di permukaan baja.
- *Non-oxidizing ions*, seperti fosfat, tungsten, dan molybdate yang membutuhkan keberadaan oksigen agar dapat membuat lapisan pasif di permukaan baja.

b. Inhibitor Katodik

Inhibitor jenis ini bekerja dengan menghambat reaksi katodik suatu logam akibat pembentukan suatu persipitat di wilayah katoda yang dapat meningkatkan impedansi permukaan sekaligus membatasi reaksi reduksi untuk melindungi logam tersebut. Perlindungan terjadi akibat penghambatan reaksi reduksi yang terjadi di katoda sehingga otomatis reaksi di anoda juga berkurang atau terhambat karena reaksi yang terjadi di anoda dan katoda berjalan setimbang dan spontan.

Dari inhibitor katodik ini terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

- Racun katoda, jenis yang menghambat reaksi evolusi hidrogen.
- Persipitat katoda, jenis yang dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam.



- *Oxygen scavenger*, jenis yang dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda.
- c. Inhibitor Presipitasi

Inhibitor jenis ini bekerja dengan membentuk persipitat yang relative porous, tebal, dan kurang kuat melekat pada logam. Lapisan ini terbentuk di seluruh permukaan logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut secara tidak langsung .
- d. Inhibitor Campuran (Inhibitor Organik)

Inhibitor campuran pada dasarnya adalah senyawa organik, digolongkan kedalam inhibitor campuran disebabkan tidak dapat dimasukkan kedalam golongan anodik maupun katodik. Keefektifan dari inhibitor organik dihubungkan dengan luasnya daerah adsorpsi yang dapat melindungi permukaan logam. Penyerapan tergantung pada struktur inhibitor, muatan yang terdapat di permukaan logam dan elektrolit. Proses yang dilakukan untuk melindungi logam dilakukan dengan cara *physical adsorption*, *chemisorption* dan pembentukan film. (Pramana, 2012).
- e. *Volatile Corrosion Inhibitor*

Inhibitor jenis ini bekerja dengan menurunkan tingkat korosifitas lingkungan dari suatu logam yang ingin dilindungi berada sebagai senyawa yang dialirkan melalui lingkungan tertutup menuju lingkungan korosif tersebut dengan cara penguapan dari sumbernya. Inhibitor jenis ini yang sering digunakan morpholine, hydrazine pada *boiler*. Senyawa tersebut dialirkan sebagai uap untuk mencegah korosi pada bagian *condenser tubes* untuk menetralkan suasana asam dan menggeser pH kesuasana yang tidak terlalu asam. Pemakaian yang efisien dari inhibitor dari jenis ini dapat menghasilkan proses inhibisi secara cepat dan dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama (Gumelar, 2011).



II.5.2 Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Organik

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi pada permukaan logam untuk membentuk lapisan proteksi. Akan tetapi, adsorpsi terbagi menjadi 3 mekanisme yaitu (Pramana, 2012):

a) *Physical adsorption* (Fisisorpsi)

Proses adsorpsinya dihasilkan dari daya tarik menarik elektrostatis antara inhibitor dan permukaan logam. Jika permukaan logam memiliki muatan positif maka inhibitor dengan muatan negatif (anion) akan mudah untuk teradsorpsi. Tetapi jika molekulnya memiliki muatan positif maka molekul tersebut akan bergabung dengan muatan negatif sebagai perantara sehingga dapat menghambat muatan positif logam. Kelebihan dari inhibitor ini adalah proses adsorpsinya yang cepat dan kekurangannya adalah inhibitor ini mudah untuk lepas dari permukaan. Peningkatan temperatur akan mengakibatkan kerusakan pada molekul inhibitor yang teradsorpsi.

b) *Chemisorption* (Kemisorpsi)

Proses adsorpsi yang terjadi melibatkan proses berbagi muatan atau serah terima muatan antara molekul inhibitor dan permukaan logam. Dalam prosesnya *Chemisorption* berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan *physical adsorption*, tetapi ketika temperatur naik proses adsorpsi dan inhibisinya akan naik juga. *Chemisorption* memiliki tingkat keefektifan yang paling baik dibandingkan dengan proses adsorpsi lainnya, hal ini disebabkan oleh proses adsorpsi yang terjadi adalah berbagi muatan antara molekul inhibitor dengan permukaan logam, sehingga reaksi yang terjadi bersifat *irreversible*.

c) *Film Forming* (Pembentukan film)

Molekul inhibitor yang teradsorpsi dapat mengalami reaksi di permukaan sehingga dapat terbentuk film *polymeric* dengan ketebalan sekitar seratus angstrom. Proses inhibisinya akan efektif jika film yang terbentuk tidak larut



dan menempel di permukaan logam dan mencegah akses dari larutan ke permukaan logam.

II.5.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah hubungan yang menunjukkan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben. Ada dua jenis hubungan matematik yang umumnya digunakan untuk menjelaskan isoterm adsorpsi. Dari perhitungan isoterm adsorpsi maka dapat diketahui energi bebas adsorpsi (ΔG), sehingga dapat ditentukan jenis adsorpsi yang terjadi termasuk dalam kemisorpsi atau fisisorpsi. Untuk mengetahui teori isoterm yang dapat digunakan, maka dilakukan perhitungan regresi untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi (R^2). Isoterm yang dapat digunakan adalah yang memiliki nilai R^2 mendekati 100% (Tanasale, 2014).

1. Isoterm Langmuir

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam teori Langmuir.

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (2.13)$$

Dengan C adalah konsentrasi inhibitor (mg/L atau ppm), K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (g/mol), dan θ adalah derajat *surface coverage*.

Nilai R^2 dihitung dari hasil plot kurva antara C sebagai sumbu X dan θ sebagai sumbu Y (Rosliza, 2009).

2. Isoterm Freundlich

Persamaan yang digunakan pada isoterm freundlich adalah:

$$\theta = K_{ads} \times C \quad (2.14)$$

Dengan K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (g/mol) dan C adalah konsentrasi inhibitor (mg/L atau ppm).

Nilai R^2 dihitung dari hasil plot kurva antara $\log C$ sebagai sumbu X dan $\log \theta$ sebagai sumbu Y (Eid, 2015).

Untuk mengetahui nilai energi bebas adsorpsi (ΔG), digunakan persamaan (2.15).

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp\left(\frac{-\Delta G^0}{RT}\right) \quad (2.15)$$



Dengan R adalah konstanta Gas Ideal (8.314 J/mol K), T adalah temperatur (K), dan K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (g/mol) (Rosliza, 2009).

II.5.4 Penghitungan Persen Inhibisi

Persen inhibisi menunjukkan persentase penurunan laju korosi akibat penambahan inhibitor. Persamaannya adalah sebagai berikut (Hakim, 2011):

$$EI (\%) = 100 \frac{(C_{Runinhibited} - C_{Rinhibited})}{C_{Runinhibited}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$C_{Runinhibited}$ = laju korosi pada wadah tanpa inhibitor

$C_{Rinhibited}$ = laju korosi pada wadah dengan penambahan inhibitor

II.6 Daun Jambu Biji (*Psidium guajava*)

Jambu Biji (*Psidium guajava*) merupakan salah satu tumbuhan yang tumbuh secara luas di Indonesia. Jambu biji memiliki manfaat yang sangat banyak, mulai dari buah yang mengandung banyak vitamin C hingga bagian daunnya yang banyak dimanfaatkan sebagai obat tradisional. Daun jambu biji banyak dimanfaatkan sebagai obat sakit diare karena kandungan zat flavonoid, dimana di dalamnya mengandung *quercetin glycoside* yang mampu menghambat atau membuat buang air besar berkurang. Selain mengandung flavonoid, daun jambu biji juga mengandung tanin, yang merupakan senyawa organik yang digunakan untuk bahan alternatif pengganti timbal merah sebagai inhibitor korosi yang ditambahkan pada pembuatan cat primer (Fachry, 2012).

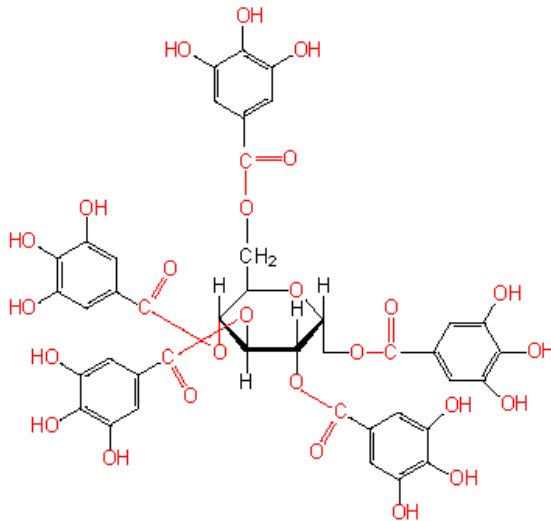
II.6.1 Tanin pada Daun Jambu Biji

Salah satu antioksidan yang terkandung dalam daun jambu biji adalah tanin. Tanin kaya akan senyawa polifenol yang mampu menghambat proses oksidasi sehingga laju korosi dapat menurun (Buckle, dkk, 1985). Secara structural, tanin adalah suatu senyawa fenol yang memiliki berat molekul besar yang

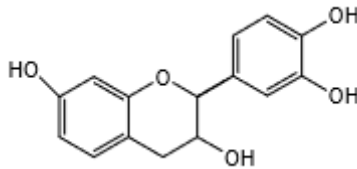


terdiri dari gugus hidroksi dan beberapa gugus yang bersangkutan seperti karboksil untuk membentuk kompleks kuat yang efektif dengan protein dan beberapa makromolekul (Horvart, 1981). Sebagai salah satu tipe dari senyawa metabolit sekunder, tanin mempunyai karakteristik sebagai berikut (Giner-Chavez, 2001):

- Senyawa oligomer dengan satuan struktur yang bermacam-macam dengan gugus fenol bebas
- Berat molekul antara 500 sampai 20.000
- Larut dalam air, dengan pengecualian beberapa struktur yang mempunyai berat molekul besar
- Mampu berikatan dengan protein dan terbentuk kompleks tanin-protein yang larut dan tidak larut.



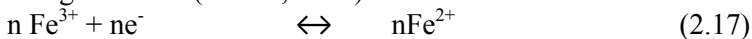
Gambar 2.2 Senyawa Tanin (Makalah Farmakognosi: “Tanin” D3 1 FA1 Sekolah Tinggi Farmasi Bandung)

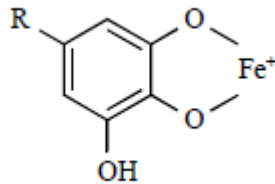


Gambar 2.3 Struktur inti tanin (Robinson, 1995)

Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III). Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi (Farida, 2014).

Menurut Rahim, 2008, tanin dari Mangrove dapat berinteraksi dengan ion Fe dalam tiga cara. Pertama, tanin dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe^{2+} ion untuk membentuk *ferrous-tannates*, yang mudah teroksidasi menjadi *ferric-tannates* dengan adanya oksigen. Kedua, tanin dapat bereaksi langsung dengan ion Fe^{3+} membentuk *ferric-tannates*. Karena tanin memiliki kemampuan untuk menyebabkan terjadinya reaksi reduksi, maka oksida Fe^{3+} dapat direduksi menjadi ion Fe^{2+} yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan tanin, yaitu *ferrous-tannates*. *ferrous-tannates* kemudian dikonversi menjadi *ferric-tannates* saat mengalami kontak dengan oksigen. Reaksi kimia dan struktur molekul antara keduanya adalah sebagai berikut (Rahim, 2008):





Gambar 2.4 Struktur Molekul Fe-Tannat (Rahim, 2008)

II.6.2 Proses Ekstraksi Tanin dari Daun Jambu Biji

Untuk mengekstrak tanin dari daun jambu biji, diperlukan proses maserasi. Maserasi merupakan metode ekstraksi yang sederhana. Maserasi dilakukan dengan cara merendam sampel dalam pelarut organik. Pelarut organik akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif sehingga zat aktif akan larut. Karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam sel, maka larutan yang terpekat didesak keluar (Cheong, et.al, 2005).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Qian et al, 2004, mengenai kekuatan antioksidan dari ekstrak daun jambu biji yang diekstrak menggunakan larutan etanol 50% dengan perbandingan serbuk daun jambu biji dan jumlah larutan 1:10, diperoleh hasil bahwa kandungan fenolik dalam ekstrak adalah sebesar 575.3 ± 15.5 mg GAE/g, lebih besar dibandingkan kandungan fenolik daun jambu biji yang diekstrak menggunakan air.

Rivai dkk, 2012, pada penelitian yang dilakukan tentang pengaruh perbandingan etanol-air sebagai pelarut ekstraksi daun jambu biji terhadap perolehan ekstrak, kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan, menyatakan bahwa kadar ekstrak dan kadar fenolik tertinggi dari proses ekstraksi daun jambu biji diperoleh ketika perbandingan etanol:air yang digunakan adalah 50:50 dengan kadar ekstrak sebanyak $97,87 \pm 1,01^d$ mg/g dan kadar fenolik sebesar $66,88 \pm 0,43^e$ mg/g. Hasil kadar fenolik tersebut paling tinggi jika dibandingkan dengan kadar fenolik



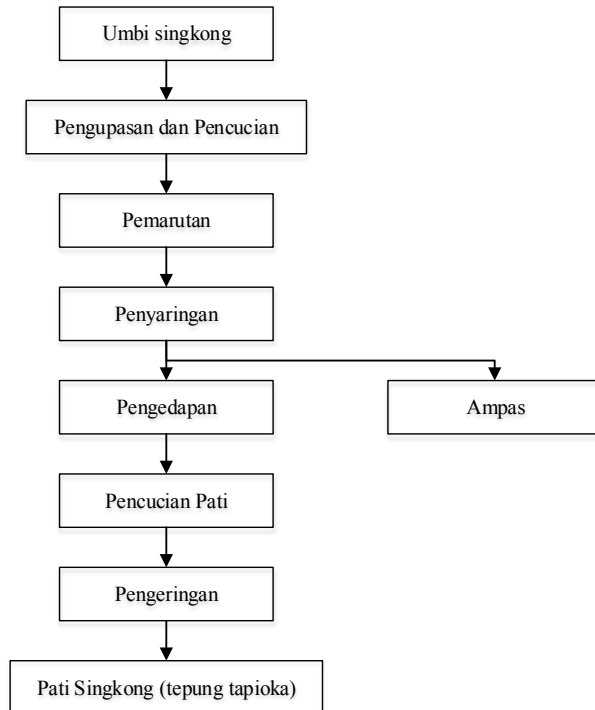
yang diperoleh dengan menggunakan perbandingan larutan etanol:air 100:0, 80:20, 70:30, 60:40, dan 40:60.

II.7 Tapioka

Tepung tapioka adalah salah satu hasil olahan dari ubi kayu atau umbi singkong. Tepung tapioka umumnya berbentuk butiran pati yang banyak terdapat dalam sel umbi singkong (Razif, 2006; Astawan, 2009). Tepung tapioka dibuat dengan mengekstrak bagian umbi singkong dengan tahap dapat dilihat dalam Gambar 2.5.

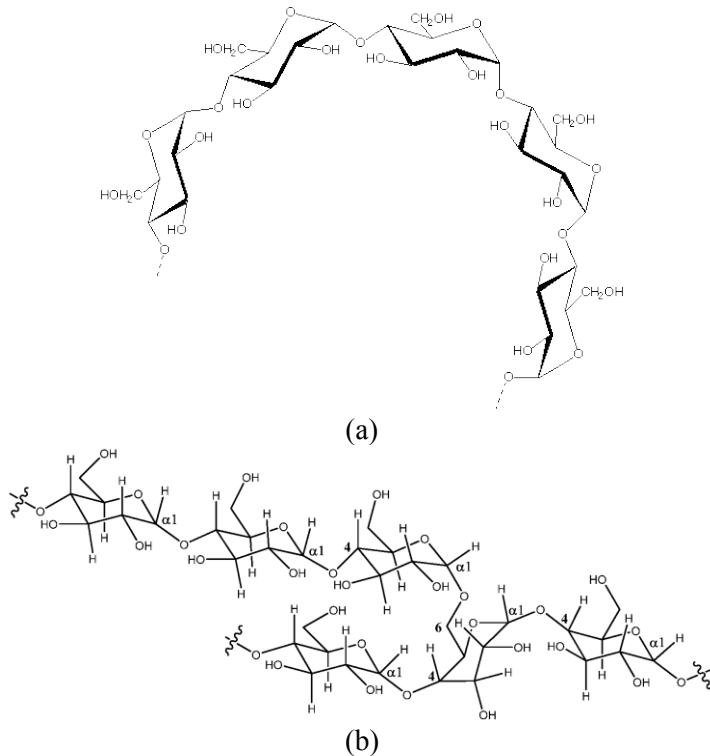
Pati adalah golongan polisakarida yang terbentuk dari glukosa sebagai monomer dengan ikatan monomer adalah - 1, 4. Pati (amilum) pada tanaman digunakan sebagai penyimpan yang paling penting di alam. Pati terdapat di dalam sel dalam bentuk gumpalan besar atau granula (Lehninger, 1982). Pati merupakan karbohidrat yang berasal dari hasil proses fotosintesis tanaman, disimpan dalam bagian tertentu tanaman dan berfungsi sebagai cadangan makanan yang tergolong dalam homopolimer glukosa dengan ikatan L-glikosidik. Pati adalah karbohidrat yang terdiri atas amilosa dan amilopektin (Jacobs dan Delcour, 1998). Pati singkong dari tepung tapioka memiliki rasio 17% amilosa dan 83% amilopektin (Winarno, 2004). Struktur amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Amilosa merupakan bagian dari rantai lurus yang dapat memutar dan membentuk daerah sulur ganda. Pada permukaan luar amilosa yang bersulur tunggal terdapat hidrogen yang berikatan dengan atom O-2 dan O-6. Rantai lurus amilosa yang membentuk sulur ganda kristal tersebut tahan terhadap amilase. Ikatan hidrogen inter- dan intra-sulur mengakibatkan terbentuknya struktur hidrofobik dengan kelarutan yang rendah. Oleh karena itu, sulur tunggal amilosa mirip dengan siklodekstrin yang bersifat hidrofobik pada permukaan dalamnya (Herawati, 2011).



Gambar 2.5 Diagram alir pembuatan tepung tapioka (Rahman, 2007)

Amilopektin merupakan polimer α -(1 \rightarrow 4) unit glukosa dengan rantai samping α -(1 \rightarrow 6) unit glukosa. Dalam suatu molekul pati, ikatan α -(1 \rightarrow 6) unit glukosa ini jumlahnya sangat sedikit, berkisar antara 4–5%. Namun, jumlah molekul dengan rantai yang bercabang, yaitu amilopektin, sangat banyak dengan derajat polimerisasi 105 – 3x10⁶ unit glukosa (Jacobs dan Delcour, 1998). Wu (2009), menyatakan bahwa *amylopectin* memiliki cabang yang berbeda, yaitu sambungan α -1,6 berulang setiap 24-30 unit monomer glukosa. Amilopektin juga mempunyai gugus *phosphate* yang terkait pada beberapa gugus hidroksil.



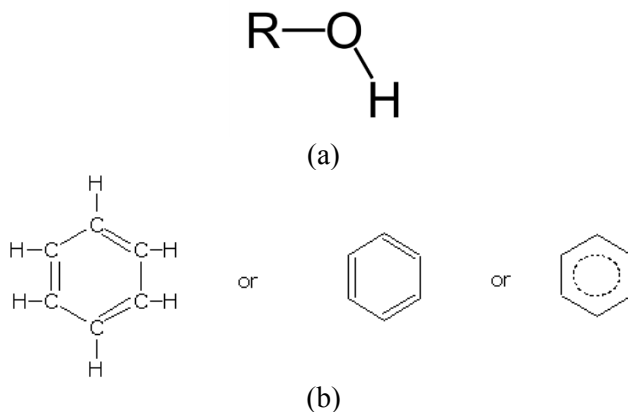
Gambar 2.6 Struktur Molekul (a) Amilosa dan (b) Amilopektin (Rosliza, 2009)

Pada struktur granula pati, amilosa dan amilopektin tersusun dalam suatu cincin-cincin. Jumlah cincin dalam suatu granula pati kurang lebih 16 buah, yang terdiri atas cincin lapisan amorf dan cincin lapisan semikristal (Hustiany, 2006). Amilosa merupakan fraksi gerak, yang artinya dalam granula pati letaknya tidak pada satu tempat, tetapi bergantung pada jenis pati. Umumnya amilosa terletak di antara molekul-molekul amilopektin dan secara acak berada selang-seling di antara daerah amorf dan kristal (Oates, 1997).

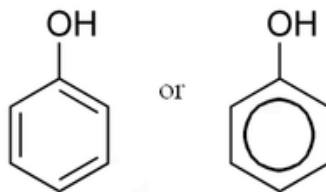


II.8 Reaksi antara Tanin dan Polisakarida

Senyawa fenolik merupakan antioksidan alami yang banyak terdapat pada tanaman. Fenolik adalah senyawa yang mengandung gugus kimia hidroksil (-OH) yang terikat pada suatu gugus hidrokarbon aromatik seperti pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Gugus Kimia pada Senyawa Fenolik (a) Gugus Hidroksil dan (b) Gugus Hidrokarbon Aromatik



Gambar 2.8 Struktur Kimia Fenol

Fenolik memegang peran yang penting sebagai antioksidan. Senyawa fenolik mampu mendonorkan atom hidrogen dari grup hidroksilnya ke senyawa radikal (Shahidi dan Nacz, 1995). Aktivitas antioksidan terjadi karena senyawa fenolik memiliki karakteristik redoks yang memungkinkan senyawa tersebut berperan sebagai pereduksi, pendonor hidrogen, pengkelat metal dan singlet oxygen quencher. Antioksidan fenolik menghambat peroksidasi lipid dengan donasi atom



hidrogen secara cepat kepada radikal peroksil (ROO-) menghasilkan alkil peroksida (ROOH) (Fuhrman dan Aviram, 2002).

Pada bahan makanan, penambahan tanin, yang juga merupakan senyawa fenolik, pada polisakarida dapat menurunkan nilai Indeks Glisemik (IG), yaitu suatu ukuran yang menggambarkan luas kurva kenaikan dan penurunan kadar gula darah setelah mengkonsumsi makanan tertentu dibandingkan dengan suatu standar (Whitney *et. al.*, 1990). Nilai IG yang rendah disebabkan karena kemampuan tanin untuk berikatan dengan protein dan polisakarida (Von Elbe dan Schwartz, 1996). Tanin juga dapat berikatan dengan karbohidrat (polisakarida) yang mengakibatkan karbohidrat menjadi lebih sulit untuk dipecah tubuh (Adistya, 2006).

II.9 Penelitian Sebelumnya

II.9.1 Ekstrak Daun Jambu Biji

Menurut penelitian Vicky Zulfikar, 2014, membuktikan bahwa ekstrak daun jambu biji mengandung senyawa fenolik berupa tanin yang berfungsi sebagai antioksidan. Senyawa tanin pada ekstrak daun jambu biji ini dapat menurunkan laju korosi Baja API 5L *Grade B* schedule 80 pada media air laut dengan konsentrasi optimum inhibitor sebesar 2000 ppm dan efisiensi sebesar 72,72% direndam selama 7 hari. Penurunan laju korosi terjadi karena adanya senyawa kompleks Fe-tanin yang melapisi permukaan logam.

Kemampuan senyawa tanin dari ekstrak daun jambu biji dalam menurunkan laju korosi juga diteliti oleh F.G. Andita dkk, 2014, dengan menggunakan Baja SS 304 dalam larutan asam sulfat. Efisiensi tertinggi pada asam sulfat 75% dicapai saat penambahan inhibitor 6000 ppm yaitu sebesar 98,42%. Pada asam sulfat 85%, nilai efisiensi tertinggi adalah 92,92% dicapai pada konsentrasi inhibitor 1000 ppm. Dan pada asam sulfat 95%, efisiensi tertinggi terjadi saat penambahan inhibitor 2000 ppm yaitu sebesar 93,73%.



Sedangkan Farida Ali, 2014, dalam penelitiannya menggunakan baja SS 304 dalam larutan garam dan asam menyatakan bahwa persen proteksi paling baik menggunakan larutan asam dengan konsentrasi inhibitor 1000 ppm yang direndam selama 4 hari dengan persen proteksi sebesar 56,29%, dan pada larutan garam proteksi korosi terbaik dengan konsentrasi 1000 ppm yang direndam selama 6 hari dengan persen proteksi sebesar 37,93%.

II.9.2 Tapioka sebagai Inhibitor Korosi

Hasil penelitian Rosliza, 2009, tentang tapioka sebagai inhibitor menunjukkan berkurangnya laju korosi *Aluminum Alloy* 6061 dalam air laut seiring dengan bertambahnya konsentrasi tapioka. Sedangkan nilai efesiensi inhibitor tapioka dengan berbagai metode pengujian laju korosi dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Harga Efesiensi Inhibitor Tapioka pada *Aluminium Alloy* 6061 (Rosliza, 2009)

Konsentrasi Tapioka (ppm)	Efisiensi Inhibitor (%)		
	Metode Gravimetri	Metode Polarisasi Potensiodinamik	Metode Impedansi
200	73,28	70,27	71,13
400	84,64	85,42	83,14
600	85,98	87,75	85,16
800	87,12	89,34	89,06
1000	91,41	93,98	93,73

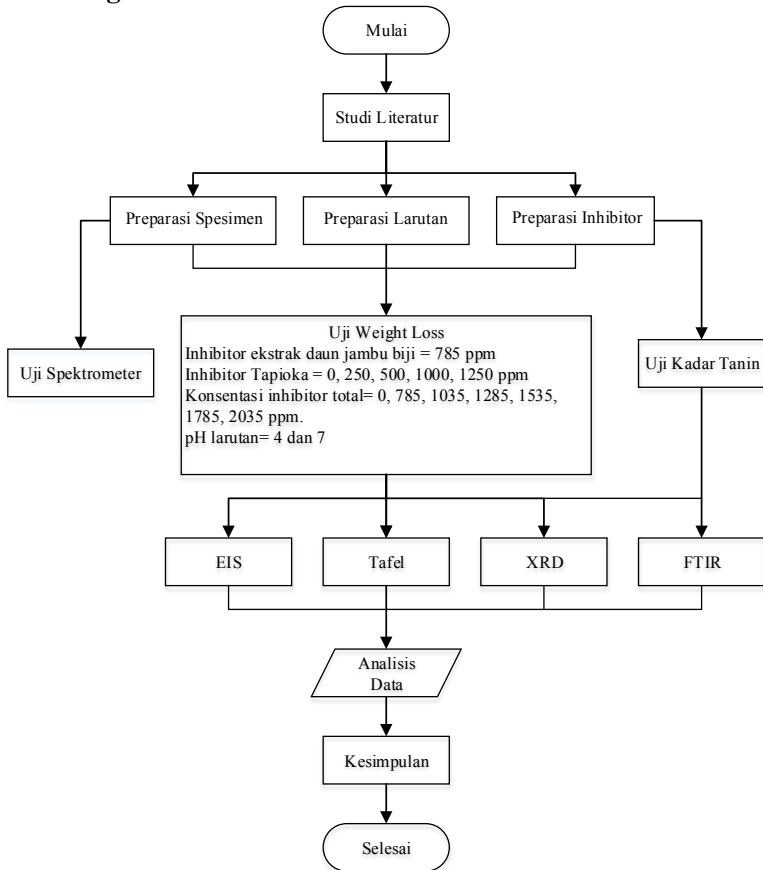
Pada penelitiannya yang lebih lanjut, Rosliza, 2013, menggunakan tepung tapioka sebagai inhibitor paduan Al-Mg-Si pada lingkungan air laut. Dari penelitiannya, dinyatakan bahwa konsentrasi optimum tapioka sebesar 1000 ppm. Sedangkan mekanisme inhibisi tapioka adalah adanya amilosa dan amilopektin yang membentuk lapisan tipis di permukaan logam sehingga laju korosi mengalami penurunan.



Karim, 2012, dalam penelitiannya tentang inhibitor korosi tepung tapioka pada pelat baja tangki ballast pada air laut, menyatakan bahwa konsentrasi optimum inhibitor tepung tapioka adalah sebesar 1000 ppm. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Fritz, 2010, dengan menggunakan baja SS 304.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Chamber plastik



2. Benang
3. Gelas ukur 100 ml
4. Beaker Glass
5. Pipet tetes
6. Gelas ukur 10 ml
7. Kertas gosok
8. Timbangan digital
9. Spatula
10. Penjepit
11. Jangka sorong
12. pH meter

III.2.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Spesimen uji
Spesimen yang digunakan dalam penelitian adalah baja API 5L Grade B dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Baja API 5L Grade B

C (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	Ti (max)	V (max)	Ni (max)
0,22%	1,20%	0,025%	0,015%	0,04%	≤0,15%	≤0,15%

Sumber: *Specification for Line Pipe American Petroleum Institute*, 2004.

2. Larutan HCl
Larutan HCl digunakan untuk proses pickling.
3. Larutan Elektrolit
Larutan elektrolit digunakan sebagai larutan rendam yang terdiri dari 2 kondisi, yaitu kondisi netral (pH 7) dan kondisi asam (pH 4).
4. Inhibitor
Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun jambu biji yang dicampur dengan tapioka.
5. Aquades



III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Preparasi Spesimen Baja API 5L

Preparasi spesimen yang dilakukan terdiri dari beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Pemotongan specimen
Baja API 5L yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder yang kemudian di rolling lalu dipotong menjadi segi empat dengan ukuran 20 mm x 20 mm x 3 mm sebanyak 126 buah dengan rincian sebagai berikut:
 - a. 21 spesimen untuk uji rendam selama 1 minggu di lingkungan pH 7
 - b. 21 spesimen untuk uji rendam selama 1 minggu di lingkungan asam
 - c. 21 spesimen untuk uji rendam selama 2 minggu di lingkungan netral
 - d. 21 spesimen untuk uji rendam selama 2 minggu di lingkungan asam
 - e. 21 spesimen untuk uji rendam selama 3 minggu di lingkungan netral
 - f. 21 spesimen untuk uji rendam selama 3 minggu di lingkungan asam
2. Pengeboran spesimen
Spesimen yang telah berbentuk coupon dengan ukuran 20 mm x 20 mm x 3 mm kemudian dibor di bagian sisi tengah atas spesimen yang berfungsi sebagai tempat menggantung spesimen.
3. Pengamplasan spesimen
Pengamplasan spesimen dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan nomor #80 kemudian dilanjutkan dengan nomor #100. Pengamplasan ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan coating yang melapisi permukaan produk. Selain itu, pengamplasan ini juga dilakukan untuk menghilangkan lapisan oksida pada spesimen.
4. Pickling Spesimen



Spesimen direndam menggunakan larutan HCl 2 M kurang lebih selama 10 menit kemudian dibilas menggunakan air bersih dan disikat lalu dibersihkan dengan larutan basa.

5. Pengambilan foto specimen
Spesimen difoto untuk dokumentasi pengamatan visual sebelum dimulai proses penelitian.



Gambar 3.2 Spesimen Uji *Weight Loss*

6. Penimbangan berat awal specimen
Spesimen yang sudah bersih kemudian ditimbang untuk data berat awal pada perhitungan *weight loss*.

III.3.2 Preparasi Larutan Rendam

Berdasarkan ASTM G31-72, untuk pengujian rendam skala laboratorium, volume larutan rendam minimal untuk pengujian adalah:

$$\text{volume larutan} = (0.2 \text{ s/d } 0.4) \times \text{luas permukaan} \quad (3.1)$$

Oleh karena itu, sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu luas permukaan spesimen yang akan diuji dengan menggunakan Pers 3.2 sebagai berikut:

$$\text{Luas Permukaan} = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - (2\pi r^2) + (t \times 2\pi r) \quad (3.2)$$

Maka didapatkan luas permukaan spesimen adalah 997,59 mm²

Berdasarkan persamaan 3.1. maka didapatkan volume larutan minimum yang diperlukan untuk sebuah spesimen adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume minimal} = 997,59 \times 0,4 = 399,036 \text{ ml} \approx 400 \text{ ml}$$



Volume larutan minimal untuk satu spesimen adalah 400 ml, sehingga larutan yang digunakan pada pengujian ini adalah sebanyak 500 ml.

- **Kondisi Netral**

Larutan dengan kondisi netral (pH 7) dibuat sesuai dengan ASTM D-1141 tentang standard practice pembuatan air laut buatan, yaitu dengan melarutkan NaCl serbuk sebanyak 3,5% dari berat larutan aquades, yaitu sebanyak 35,24 gram untuk 1 liter aquades.

- **Kondisi Asam**

Larutan dengan kondisi asam pH 4 dibuat dengan menambahkan aquades ke dalam 7,7 ml larutan CH_3COOH 98% hingga volume total larutan mencapai 1000 ml.

- **Masing-masing media korosi ditempatkan di dalam chamber plastik. Setelah itu mencampurkan campuran inhibitor kedalam masing-masing media korosi.**

III.3.3. Preparasi Inhibitor

- Ekstrak daun jambu biji
 - Daun jambu biji dibersihkan menggunakan air mengalir



Gambar 3.3 Daun Jambu Biji yang Telah Dibersihkan

- Daun yang sudah dibersihkan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan, hingga kering
- Daun yang sudah kering dihaluskan menggunakan blender sampai terbentuk serbuk daun jambu biji untuk selanjutnya diekstrak dengan cara maserasi



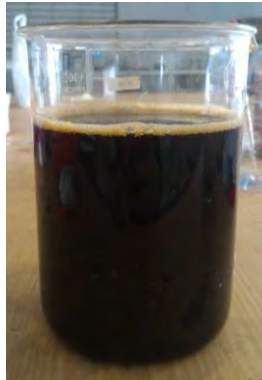
Gambar 3.4 Serbuk Daun Jambu Biji

- Serbuk daun jambu biji dimaserasi dengan cara direndam menggunakan ethanol:aquades (50:50) dan dibiarkan selama 2 hari sambil diaduk sesekali



Gambar 3.5 Proses Maserasi Menggunakan Pelarut Etanol:Aquades 50:50

- Hasil rendaman disaring, lalu filtrat dikentalkan menggunakan metode distilasi.
- Konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah 785 ppm dan jumlahnya tidak divariasikan.



Gambar 3.6 Ekstrak Daun Jambu Biji

- Sebagai campuran inhibitor, ditambahkan tapioka ke dalam 500 ml larutan pH 4 dan pH 7 dengan konsentrasi:
 - 0 ppm
 - 250 ppm = 0,125 g
 - 500 ppm = 0,25 g
 - 750 ppm = 0,375 g
 - 1000 ppm = 0,5 g
 - 1250 ppm = 0,625 g



Gambar 3.7 Tapioka yang Digunakan

- Variasi konsentrasi inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka yang ditambahkan ke dalam 500 ml larutan pH 4 dan pH 7 adalah:
 - 0 ppm
 - 785 ppm atau 3,67 ml ekstrak daun jambu biji
 - 1035 ppm = 3,67 ml ekstrak daun jambu biji + 0,125 g tapioka



- 1285 ppm = 3,67 ml ekstrak daun jambu biji + 0,25 g tapioka
- 1535 ppm = 3,67 ml ekstrak daun jambu biji + 0,375 g tapioka
- 1785 ppm = 3,67 ml ekstrak daun jambu biji + 0,5 g tapioka
- 2035 ppm = 3,67 ml ekstrak daun jambu biji + 0,625 g tapioka



Gambar 3.8 Inhibitor Campuran Ekstrak Daun Jambu Biji dan Tapioka

III.3.4. Langkah Kerja Perendaman Spesimen berdasarkan ASTM G31-72

1. Melilitkan benang ke batang kayu sebagai penyangga.
2. Memberi label yang terdiri dari jenis larutan (netral atau asam), konsentrasi inhibitor, dan lama perendaman untuk setiap wadah plastik.
3. Membuat inhibitor campuran dengan menambahkan tapioka pada ekstrak daun jambu biji untuk setiap konsentrasi.
4. Memasukkan larutan pH 4 dan pH 7 sebanyak 500 ml ke dalam setiap wadah plastik lalu menambahkan inhibitor yang telah disiapkan.
5. Memasang ujung benang pada lubang yang ada di kemudim merendam 42 spesimen selama 1 minggu, 42 spesimen selama 2 minggu dan 42 spesimen lainnya selama 3 minggu.



Gambar 3.9 Proses Perendaman Spesimen

III.4 Pengujian Spektrometer

Pengujian spektrometer dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia baja API 5L yang digunakan. Pengujian dilakukan di PT Barata Indonesia, Gresik.

III.5 Pengujian Kadar Tanin dalam Ekstrak Daun Jambu Biji

Pengujian kadar tanin dalam ekstrak daun jambu biji dilakukan dengan menimbang sampel secara akurat kemudian dilarutkan dalam 150 ml aquadest. Campuran dipanaskan selama 30 menit kemudian didinginkan hingga temperatur ruangan. Kemudian memindahkan campuran ke dalam labu takar 250 ml dan mengencerkan hingga volumenya sesuai. Campuran disaring menggunakan kertas saring berdiameter 12 cm dan 50 ml filtrat awal dibuang. Untuk menentukan jumlah senyawa yang terekstraksi ke dalam aquadest, filtrat diuapkan sejumlah 50 ml pada temperatur 105°C selama 4 jam (T_1).

Untuk menentukan jumlah senyawa dari sampel yang tidak terikat pada kulit dan terekstraksi ke dalam aquadest, 80 ml filtrat diambil dari tahap sebelumnya dan kemudian ditambahkan 6 gram kulit. Kocok campuran selama 60 menit kemudian saring menggunakan kertas saring diameter 12 cm. Uapkan filtrat sejumlah 50 ml pada temperatur 105°C (T_2).



Untuk menentukan kelarutan kulit dalam aquadest, tambahkan 6 gram kulit ke dalam 80 ml aquadest dan kocok selama 60 menit. Saring menggunakan kertas saring diameter 12 cm dan uapkan filtrat sejumlah 50 ml pada temperatur 105°C (T₀).

Penentuan kadar tanin dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{[T_1 - (T_2 - T_0)] \times 500}{w} \quad (3.3)$$

Dengan w adalah bobot sampel dalam gram.

III.6 Pengujian Laju Korosi

III.6.1 Metode *Weight Loss*

Metode *weight loss* digunakan untuk mengetahui laju korosi Baja API 5L. Pada pengujian ini, spesimen baja API 5L grade B yang telah dipreparasi dan ditimbang berat awalnya, direndam dalam larutan elektrolit tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor selama 3 minggu. Pengambilan data berat akhir dilakukan sebanyak 3 kali setiap 1 minggu perendaman. Dari data tersebut dapat dihitung laju korosi yang diperoleh dari perhitungan rumus metode kehilangan berat dengan standart ASTM G1 sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi} = K \frac{W}{\text{DAT}} \quad (3.4)$$

Keterangan :

K = konstanta laju korosi = $3,45 \times 10^6$

W = massa yang hilang (g)

A = luas permukaan spesimen (cm²)

T = waktu perendaman (jam)

D = densitas spesimen (g / cm³)

Persen Inhibisi dihitung dengan rumus berikut:

$$EI (\%) = 100 \frac{(C_{Runinhibited} - C_{Rinhibited})}{C_{Runinhibited}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

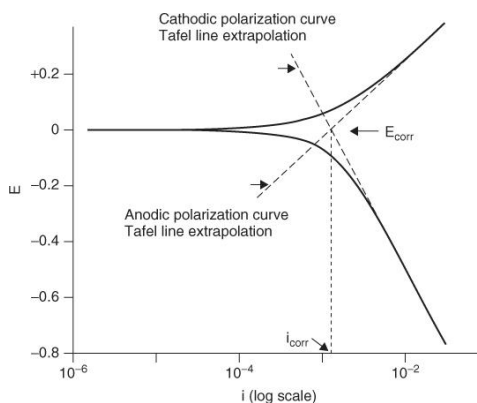
$C_{Runinhibited}$ = laju korosi pada wadah tanpa inhibitor

$C_{Rinhibited}$ = laju korosi pada wadah dengan penambahan inhibitor



III.6.2 Pengujian Polarisasi Linear (Tafel)

Metode pengujian dengan cara Tafel banyak diaplikasikan untuk mengukur laju korosi pada media uji secara cepat. Metode Tafel dipelajari dari kurva Tafel seperti ditunjukkan pada gambar 3.10. Pada logam yang kontak dengan medium korosif mengakibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi pada logam tersebut. Dalam logam akan terbentuk situs-situs mikrosel katodik maupun mikrosel anodik sehingga akan dihasilkan arus, baik dari katodik maupun anodik. Arus yang terjadi menghasilkan potensial yang disebut potensial korosi, E_{kor} , dimana potensial daerah anoda sama dengan potensial daerah katoda. Ada atau tidak adanya arus yang diberikan dari luar dapat mengakibatkan terbentuk potensial lebih antara potensial katoda dan potensial anoda, potensial ini dinamakan dengan potensial berlebih (over potensial, η).



Gambar 3.10 Kurva Polarisasi Tafel

Pengujian Tafel dilakukan terhadap sampel Baja API 5 L dalam lingkungan pH 4 dan pH 7 tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor dengan persen inhibisi tertinggi. Tabel 3.2 menunjukkan parameter pengujian Tafel yang digunakan.

**Tabel 3.2** Parameter Pengujian Tafel

Elektrode Kerja	API 5L Grade B
<i>Equivalent Weight</i> (g)	27.92
Densitas (g/ml)	7.85
<i>Counter Electrode</i>	Platina
<i>Reference Electrode</i>	SCE
<i>Scan Rate</i> (V/s)	0,001
<i>Start Potential</i> (V)	-0,03 vs E_{corr}
<i>Finish Potential</i> (V)	+0,03 vs E_{corr}

III.7 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataupun transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . EIS umumnya menggunakan stimulus potensial yang kecil (1-10 mV). Pengujian EIS dilakukan menggunakan software NOVA.

III.8 Pengujian *X-Rays Diffraction*

Uji XRD digunakan untuk menganalisis jenis produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam yang telah direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 tanpa penambahan inhibitor. Alat XRD yang digunakan adalah Panalytical seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Alat Uji XRD

III.9 Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor tapioka dan ekstrak daun jambu biji. Selain itu, FTIR juga digunakan untuk melihat ikatan yang terdapat pada lapisan permukaan pada spesimen hasil rendaman.



Gambar 3.12 Alat Uji FTIR



III.10 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisis data yang didapat, maka dibuat rancangan percobaan sebagai berikut :

Tabel 3.3 Hasil Hasil Uji *Weight Loss*

pH	Konsentra si inhibitor (ppm)	Waktu Perendaman (Minggu)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih Massa (gr)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi (%)
4 atau 7	0	1					
		2					
		3					
	1000	1					
		2					
		3					
	1250	1					
		2					
		3					
	1500	1					
		2					
		3					
	1750	1					
		2					
		3					
	2000	1					
		2					
		3					
	2250	1					
		2					
		3					

**Tabel 3.4** Tabel Hasil Uji Tafel

pH	Konsentrasi Inibitor (ppm)	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (μA)	Laju Korosi	
						(mm/yr)	(mpy)
4							
7							

Tabel 3.5 Tabel Hasil Pengujian EIS

pH	Konsentrasi Inibitor (ppm)	R _s (Ω)	R _p (Ω)	CPE (nMho)
4				
7				



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pengujian

IV.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer

Pengujian spektrometer dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada baja API 5L grade B yang digunakan sebagai sampel uji. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi kimia baja API 5 L dari hasil uji spektrometer yang dilakukan. Dari komposisi kimia tersebut diketahui bahwa sampel uji yang digunakan tergolong dalam *low carbon steel* karena kadar karbon yang dimiliki di bawah 0,25% (Wardoyo, 2005).

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
0,0023	0,0048	0,0092	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0182
B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,014	0,0028	0,0296	< 0,003

IV.1.2 Hasil Pengujian Kadar Tanin dalam Ekstrak Daun Jambu Biji

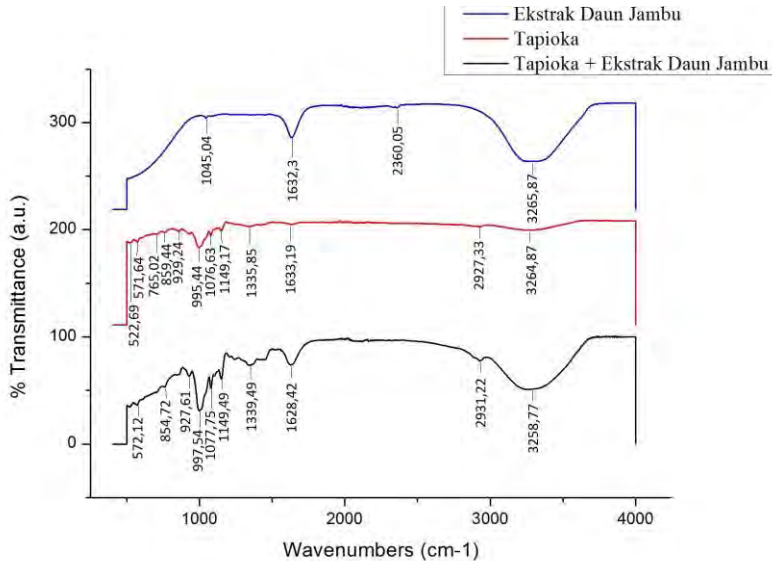
Pengujian kadar tanin dilakukan pada 250 mg ekstrak daun jambu biji. Dari pengujian yang dilakukan, diketahui bahwa kadar tanin yang terkandung dalam 250 mg ekstrak adalah sebesar $10,93 \pm 0,90$ %.

IV.1.3 Hasil Pengujian FTIR pada Inhibitor

Pengujian FTIR dilakukan pada ekstrak daun jambu biji, tapioka, serta campuran keduanya untuk mengetahui ikatan gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor sehingga dapat dianalisis kandungan senyawa pada inhibitor tersebut. Pengujian FTIR pada ketiga inhibitor tersebut menghasilkan beberapa puncak-puncak



dengan nilai panjang gelombang tertentu yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Uji FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji, Tapioka, dan Campuran Keduanya

Hasil analisis terhadap hasil uji FTIR pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa terdapat beberapa *wavenumbers range* yang sama pada hasil FTIR ketiga inhibitor. *Wavenumbers range* yang dimiliki pada ketiga inhibitor tersebut adalah $3400-3230\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan alkohol dan fenol serta $1640-1535\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan *ketones*. Selain itu, terdapat beberapa *wavenumbers range* pada hasil FTIR ekstrak daun jambu biji serta hasil FTIR tapioka yang tidak ditemukan pada hasil FTIR inhibitor campuran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat reaksi yang terjadi antara ekstrak daun jambu biji dan tapioka yang menyebabkan putusnya beberapa ikatan kimia dan membentuk senyawa kompleks tanin-polisakarida. Akan tetapi, reaksi yang



terjadi merupakan reaksi *reversible* sehingga senyawa kompleks dapat teruraikan kembali (Gayon, 2006).

Tabel 4.2 Analisis Kesamaan *Wavenumbers* pada Hasil Uji FTIR Inhibitor

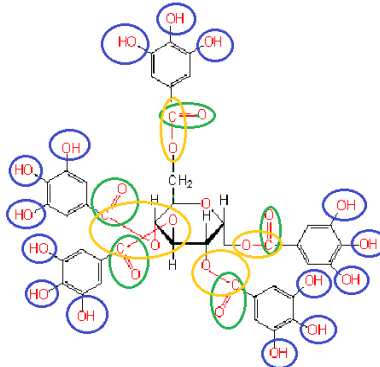
Wave numbers Esktak Daun Jambu Biji (cm-1)	Wave numbers Tapioka (cm-1)	Wave numbers Inhibitor Campuran (cm-1)	Wave numbers Range (cm-1)	Ikatan	Jenis Senyawa
3265,87	3264,87	3258,77	3400-3230	O-H	<i>Alcohols and phenols (polymeric intramolecularly hydrogen bonded)</i>
2360,05	-	-	2640-2360	-	<i>Amino acids</i>
-	2927,33	2931,22	2940-2915	C-H	<i>Alkanes (-CH₂-)</i>
1632,3	1633,19	1628,42	1640-1535	C=O	<i>Ketones</i>
-	1335,85	1339,49	1350-1260	O-H	<i>Primary C-O-H</i>
-	1149,17	1149,49	1175-1125	C-H	<i>Substituted benzenes, 1,3-disubstituted or tri-substituted benzenes</i>
1045,04	-	-	1175-1045	C-O	<i>Carbonyl compounds (Anhydrides acyclic)</i>
-	1076,63	1077,75	1150-1070	R-O-R	<i>Aliphatic ethers</i>
-	995,44	997,54	1240-900	P-O	<i>Phosphorus compounds (P-OH)</i>
-	929,24	927,61	975-780	C-H	<i>Aldehydes</i>
-	859,44	854,72	870-800	C-H	<i>Benzene ring containing two adjacent H atoms</i>
-	765,02	-	770-735	C-H	<i>Benzene ring containing four adjacent free H atoms</i>
-	571,64	572,12	600-500	C-Br	<i>Bromides</i>
-	522,69	-			

IV.1.3.1. Analisis Hasil FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji

Pengujian FTIR pada ekstrak daun jambu biji menghasilkan beberapa puncak-puncak dengan nilai panjang



gelombang tertentu yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Berdasarkan hasil uji FTIR ekstrak daun jambu biji tersebut, dapat dianalisis apakah ikatan gugus fungsi yang terkandung dalam ekstrak merupakan ikatan gugus fungsi dalam senyawa tanin yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Ikatan gugus fungsi Tanin

Tabel 4.3 Hasil Analisis Ikatan gugus fungsi Ekstrak Daun Jambu Biji

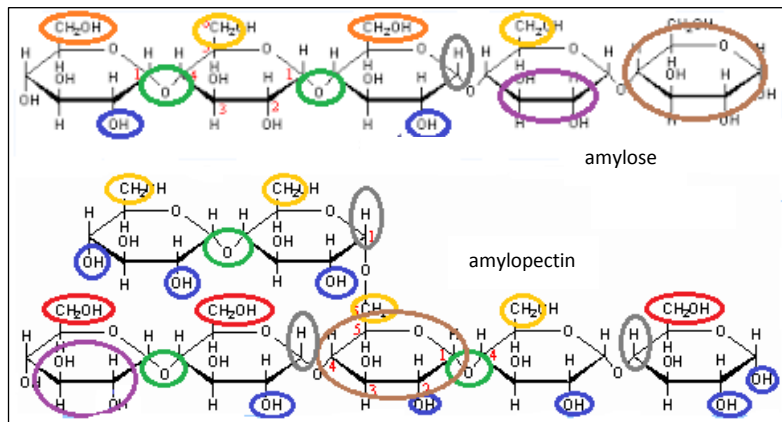
Wave numbers (cm-1)	Wave numbers Range (cm-1)	Ikatan	Jenis Senyawa	Kesesuaian dengan Gambar 4.2
3265,87	3400-3230	O-H	<i>Alcohols and phenols (polymeric intramolecularly hydrogen bonded)</i>	sesuai dengan warna biru
2360,05	2640-2360	-	<i>Amino acids</i>	tidak sesuai
1632,3	1640-1535	C=O	<i>Ketones</i>	sesuai dengan warna hijau
1045,04	1175-1045	C-O	<i>Carbonyl compounds (Anhydrides acyclic)</i>	sesuai dengan warna kuning



Hasil analisis terhadap hasil uji FTIR ekstrak daun jambu biji ada tabel 4.3 menunjukkan bahwa ekstrak daun jambu biji yang digunakan memiliki ikatan gugus fungsi yang bersesuaian dengan ikatan gugus fungsi pada senyawa tanin, sehingga dapat diketahui bahwa terdapat kandungan senyawa tanin pada ekstrak daun jambu biji tersebut.

IV.1.3.2. Hasil Pengujian FTIR Tapioka

Pengujian FTIR pada tapioka menghasilkan beberapa puncak-puncak dengan nilai panjang gelombang tertentu yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Berdasarkan hasil uji FTIR tapioka tersebut, dapat dianalisis apakah ikatan gugus fungsi yang terkandung dalam ekstrak merupakan ikatan gugus fungsi dalam senyawa amilosa dan amilopektin yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Ikatan gugus fungsi Amilosa dan Amilopektin

**Tabel 4.4** Hasil Analisis Ikatan Gugus Fungsi Tapioka

Wave numbers (cm-1)	Wave numbers Range (cm-1)	Ikatan	Jenis Senyawa	Kesesuaian dengan Gambar 4.3
3264,87	3400-3230	O-H	<i>Alcohols and phenols (polymeric intramolecularly hydrogen bonded)</i>	sesuai dengan warna biru
2927,33	2940-2915	C-H	<i>Alkanes (-CH₂-)</i>	sesuai dengan warna kuning
1633,19	1640-1535	C=O	<i>Ketones</i>	tidak sesuai
1335,85	1350-1260	O-H	<i>Primary C-O-H</i>	sesuai dengan warna merah
1149,17	1175-1125	C-H	<i>Substituted benzenes, 1,3-disubstituted or tri-substituted benzenes</i>	sesuai dengan warna abu-abu
1076,63	1150-1070	R-O-R	<i>Aliphatic ethers</i>	sesuai dengan warna hijau
995,44	1240-900	P-O	<i>Phosphorus compounds (P-OH)</i>	tidak sesuai
929,24	975-780	C-H	<i>Aldehydes</i>	tidak sesuai
859,44	870-800	C-H	<i>Benzene ring containing two adjacent H atoms</i>	sesuai dengan warna ungu
765,02	770-735	C-H	<i>Benzene ring containing four adjacent free H atoms</i>	sesuai dengan warna coklat
571,64 522,69	600-500	C-Br	<i>Bromides</i>	tidak sesuai



Hasil analisis terhadap hasil uji FTIR tapioka pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa tapioka yang digunakan memiliki ikatan gugus fungsi yang bersesuaian dengan ikatan gugus fungsi pada senyawa amilosa dan amilopektin, sehingga dapat diketahui bahwa terdapat kandungan amilosa dan amilopektin pada tapioka tersebut. Selain itu, terdapat beberapa ikatan gugus fungsi yang tidak bersesuaian dengan ikatan gugus fungsi amilopektin, yaitu ikatan gugus fungsi P-O dan C-Br. Rosliza (2009) menyatakan bahwa amilopektin memiliki gugus fosfat yang terikat pada beberapa gugus hidroksilnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ikatan gugus fungsi P-O merupakan bagian dari amilopektin. Sedangkan ikatan gugus fungsi C-Br diduga berasal dari bahan lain yang ditambahkan pada tapioka yang digunakan.

IV.1.4 Hasil Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan inhibitor terhadap laju korosi baja API 5L grade B pada lingkungan pH 4 dan pH 7. Metode ini dilakukan dengan merendam spesimen pada media korosif selama 3 minggu, dengan pengambilan data setiap 1 minggu.

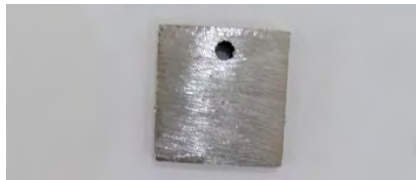
Sebelum dan setelah proses perendaman, dilakukan pengamatan visual pada permukaan sampel dan larutan yang digunakan. Hasil pengamatan visual ditunjukkan pada gambar 4.4 – gambar 4.6.

Gambar 4.4 merupakan gambar sampel sebelum dan sesudah dilakukan proses perendaman. Dari pengamatan visual yang dilakukan, terlihat bahwa tidak ada produk korosi yang menempel pada permukaan sampel sebelum dilakukan proses perendaman.

Setelah dilakukan proses perendaman, terdapat perubahan warna pada permukaan sampel. Pengamatan visual pada sampel dilakukan sebelum permukaan sampel dibersihkan dengan menggunakan metode *brushing*. Terlihat bahwa terdapat lapisan berwarna coklat pada permukaan sampel yang direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 tanpa penambahan inhibitor. Lapisan ini



diduga merupakan produk korosi yang dihasilkan selama proses perendaman. Lapisan yang terbentuk tidak melekat dengan erat sehingga sangat mudah dibersihkan. Sedangkan pada permukaan sampel yang direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 dengan penambahan inhibitor, terlihat bahwa terdapat lapisan berwarna hitam yang diduga merupakan lapisan inhibitor yang melindungi sampel dari korosi.



(a)

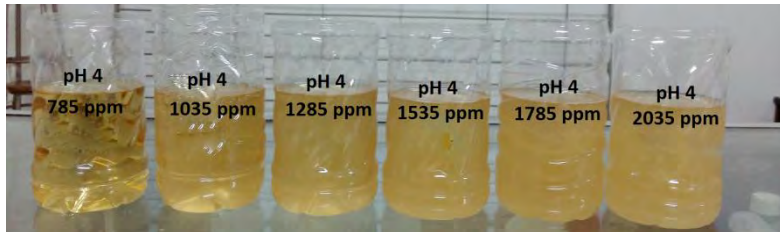
	Tanpa Inhibitor	Dengan Inhibitor
pH 4		
pH 7		

(b)

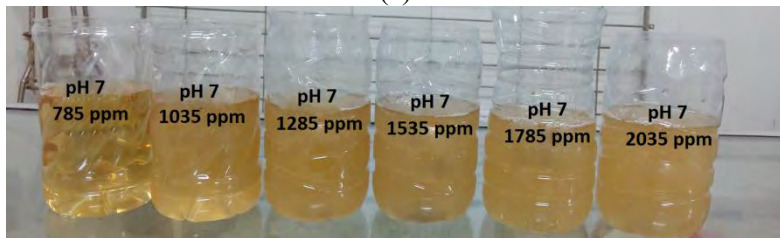
Gambar 4.4 Sampel Baja API 5L Grade B (a) Sebelum dan (b) Sesudah Perendaman

Gambar 4.5 menunjukkan larutan pH 4 dan pH 7 dengan penambahan inhibitor sebelum proses perendaman. Dari pengamatan visual yang dilakukan, terlihat bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun jambu biji membuat larutan berwarna kuning kecokelatan. Warna larutan menjadi semakin keruh

dengan adanya penambahan inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka.



(a)



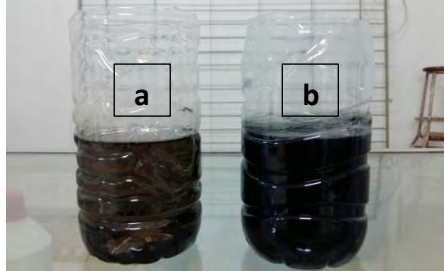
(b)

Gambar 4.5 (a) Larutan pH 4 dan (b) pH 7 dengan Penambahan Inhibitor Sebelum Perendaman

Pengamatan visual juga dilakukan pada larutan setelah proses perendaman. Pada gambar 4.6, terlihat bahwa larutan pH 4 dan pH 7 dengan penambahan inhibitor berubah warna menjadi hitam. Perubahan warna terjadi karena adanya reaksi antara logam dengan senyawa tanin yang terkandung dalam inhibitor. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hem (1960), diketahui bahwa tanin mengalami disosiasi dan menghasilkan anion $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOC}_6\text{H}_2(\text{OH})_2\text{COO}^{-1}$ yang selanjutnya disimbolkan dengan T^{-1} . Anion tersebut dapat bereaksi dengan ion besi membentuk senyawa kompleks TFe^{-1} atau T_2Fe . Senyawa kompleks ini terdiri dari molekul besar yang bersifat sebagai koloid yang menyebabkan berubahnya warna



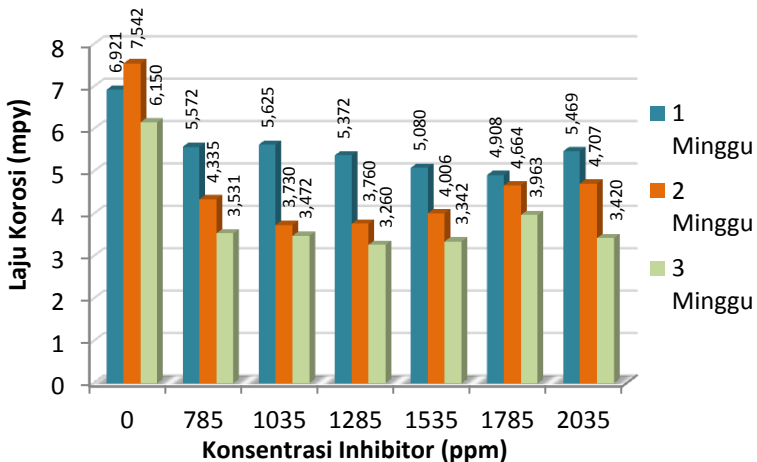
larutan menjadi hitam. Hal tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Iglesias (2001).



Gambar 4.6 Larutan (a) pH 4 dan (b) pH 7 dengan Penambahan Inhibitor setelah Perendaman

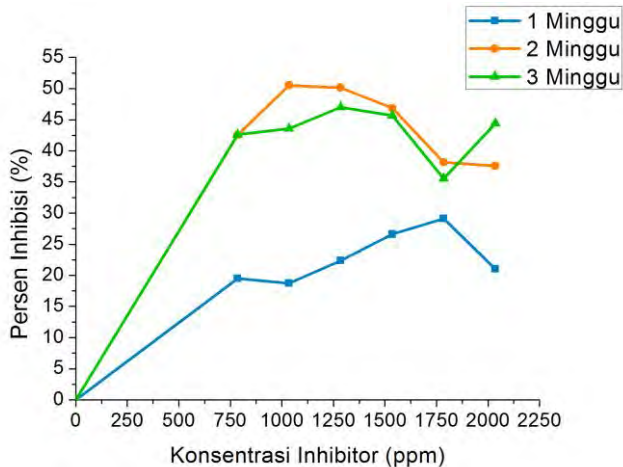
Setelah dilakukan proses perendaman selama 3 minggu, diperoleh data laju korosi dan persen inhibisi inhibitor yang ditunjukkan pada gambar 4.7 – gambar 4.10.

Berdasarkan gambar 4.7, terdapat pengaruh penambahan konsentrasi tapioka pada ekstrak daun jambu biji terhadap laju korosi baja API 5 L grade B pada lingkungan pH 4. Laju korosi mengalami penurunan dengan adanya penambahan inhibitor. Untuk setiap waktu perendaman, diperoleh laju korosi terkecil saat penambahan inhibitor campuran sebanyak 1785 ppm pada perendaman 1 minggu, 1035 ppm pada perendaman 2 minggu, dan 1285 ppm pada perendaman 3 minggu. Secara keseluruhan, laju korosi terendah diperoleh pada perendaman selama 3 minggu dengan penambahan konsentrasi inhibitor campuran 1285 ppm. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka lebih efektif dalam menghambat laju korosi dibandingkan inhibitor ekstrak daun jambu murni.



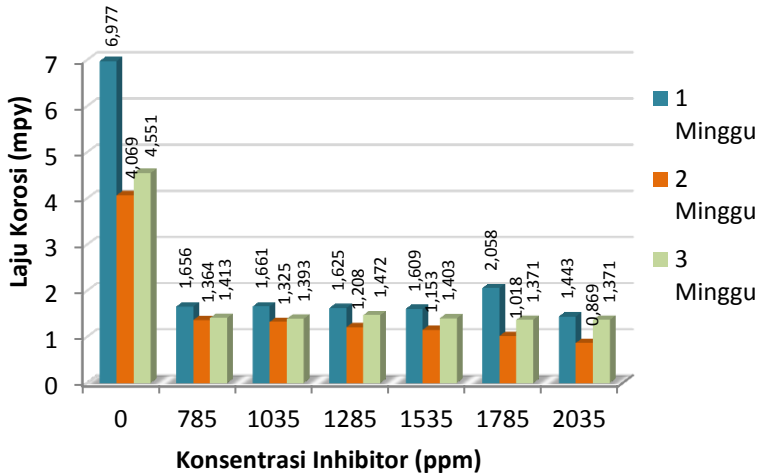
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja API 5L pada Lingkungan pH 4 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman

Kemampuan inhibitor dalam menurunkan laju korosi pada pH 4 dapat dilihat pada gambar 4.8. Persen inhibisi tertinggi sebesar 50,54% dengan penambahan inhibitor campuran sebanyak 1035 ppm pada perendaman 2 minggu. Sedangkan persen inhibisi yang diperoleh dari penambahan 785 ppm inhibitor ekstrak daun jambu biji pada pH dan waktu perendaman yang sama adalah sebesar 42,52%. Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan 250 ppm tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji dapat meningkatkan persen inhibisi sebesar 8,02% pada lingkungan pH 4. Secara keseluruhan, gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan persen inhibisi di lingkungan pH 4.

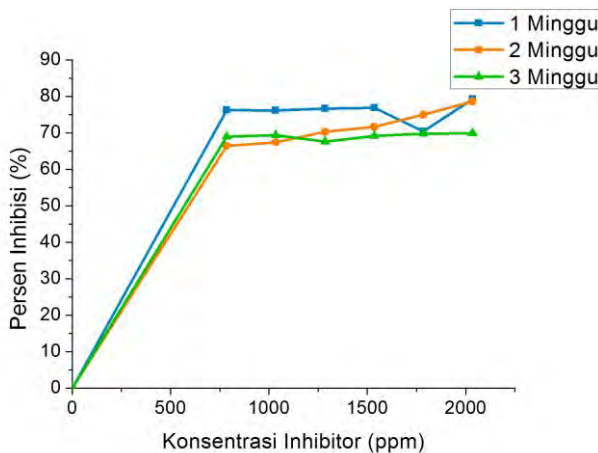


Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Terhadap Persen Inhibisi pada Lingkungan pH 4 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman

Pada gambar 4.9, penurunan laju korosi dengan adanya penambahan inhibitor pada lingkungan pH 7 lebih signifikan jika dibandingkan dengan lingkungan pH 4 pada gambar 4.7. Untuk waktu perendaman 1, 2 dan 3 minggu, diperoleh laju korosi terkecil saat penambahan inhibitor campuran sebanyak 2035 ppm. Secara keseluruhan, laju korosi terendah diperoleh pada perendaman selama 1 minggu dengan penambahan konsentrasi inhibitor campuran 2035 ppm. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka lebih efektif dalam menghambat laju korosi dibandingkan inhibitor ekstrak daun jambu biji murni.



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja API 5L pada Lingkungan pH 7 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inhibitor Terhadap Persen Inhibisi pada Lingkungan pH 7 selama 1, 2 dan 3 Minggu Perendaman



Tabel 4.5 Kategori Laju Korosi dengan Penambahan Konsentrasi Inhibitor pada pH 4 dan pH 7

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu Perendaman (Minggu)	Laju Korosi (mpy)	<i>Relative Corrosion Resistance</i>	Laju Korosi (mpy)	<i>Relative Corrosion Resistance</i>
		pH 4		pH 7	
0	1	6,921	<i>Good</i>	6,977	<i>Good</i>
	2	7,542	<i>Good</i>	4,069	<i>Excellent</i>
	3	6,150	<i>Good</i>	4,551	<i>Excellent</i>
785	1	5,572	<i>Good</i>	1,656	<i>Excellent</i>
	2	4,335	<i>Excellent</i>	1,364	<i>Excellent</i>
	3	3,531	<i>Excellent</i>	1,413	<i>Excellent</i>
1035	1	5,625	<i>Good</i>	1,661	<i>Excellent</i>
	2	3,730	<i>Excellent</i>	1,325	<i>Excellent</i>
	3	3,472	<i>Excellent</i>	1,393	<i>Excellent</i>
1285	1	5,372	<i>Good</i>	1,625	<i>Excellent</i>
	2	3,760	<i>Excellent</i>	1,208	<i>Excellent</i>
	3	3,260	<i>Excellent</i>	1,472	<i>Excellent</i>
1535	1	5,080	<i>Good</i>	1,609	<i>Excellent</i>
	2	4,006	<i>Excellent</i>	1,153	<i>Excellent</i>
	3	3,342	<i>Excellent</i>	1,403	<i>Excellent</i>
1785	1	4,908	<i>Excellent</i>	2,058	<i>Excellent</i>
	2	4,664	<i>Excellent</i>	1,018	<i>Excellent</i>
	3	3,963	<i>Excellent</i>	1,371	<i>Excellent</i>
2035	1	5,469	<i>Good</i>	1,443	<i>Excellent</i>
	2	4,707	<i>Excellent</i>	0,869	<i>Outstanding</i>
	3	3,420	<i>Excellent</i>	1,371	<i>Excellent</i>

Kemampuan inhibitor dalam menurunkan laju korosi pada pH 7 dapat dilihat pada gambar 4.10. Persen inhibisi tertinggi sebesar 79,32% pada waktu perendaman 1 minggu dengan penambahan inhibitor campuran sebanyak 2035 ppm. Sedangkan persen inhibisi yang diperoleh dari penambahan 785 ppm inhibitor ekstrak daun jambu biji pada pH dan waktu perendaman yang sama adalah sebesar 76,26%. Sehingga dapat



diketahui bahwa penambahan 1250 ppm tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji dapat meningkatkan persen inhibisi sebesar 3,06% pada lingkungan pH 7. Secara keseluruhan, gambar 4.13 menunjukkan bahwa penambahan tapioka pada ekstrak daun jambu biji tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan persen inhibisi di lingkungan pH 7.

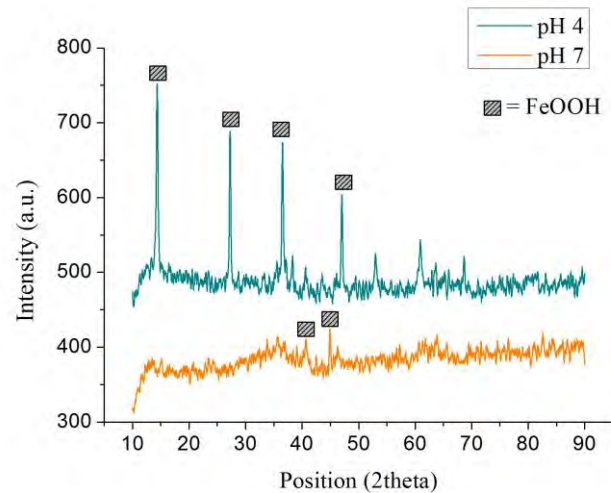
Perbandingan antara laju korosi yang diperoleh dengan tabel *relative corrosion resistance* menghasilkan data pada tabel 4.5. Laju korosi yang diperoleh termasuk dalam kategori *good*, *excellent*, dan *outstanding*.

IV.1.5 Hasil Pengujian XRD

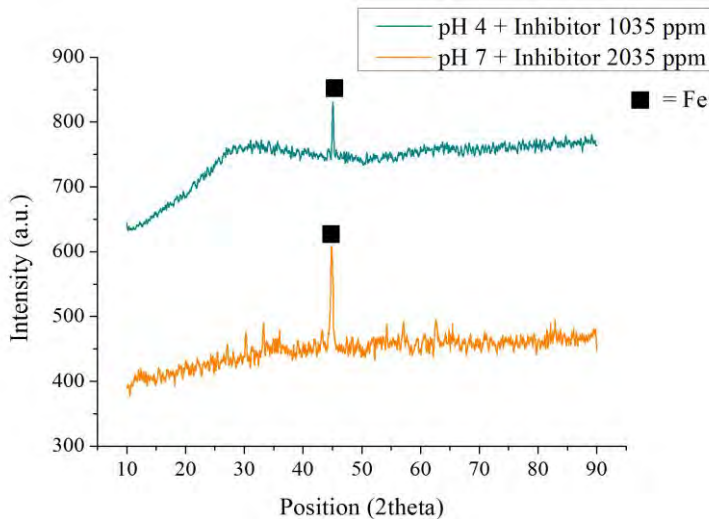
Pengujian XRD dilakukan terhadap permukaan sampel yang telah direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 tanpa dan dengan penambahan inhibitor untuk mengidentifikasi produk korosi yang terbentuk. Dari pengujian XRD yang dilakukan, diperoleh grafik pada gambar 4.11.

Identifikasi hasil XRD dilakukan menggunakan *software* Match untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terbentuk pada sampel. Selain itu juga dilakukan pencocokan puncak-puncak yang teridentifikasi menggunakan database ICDD.

Dari hasil uji XRD sampel rendam pada pH 4 tanpa inhibitor, diperoleh 4 puncak tertinggi yang berada pada posisi 2theta 4.3745, 27.2516, 36.5210 dan 47.0299. Melalui hasil pencocokan manual antara puncak yang terbentuk dengan database ICDD, diketahui bahwa puncak tersebut bersesuaian dengan puncak FeOOH (*Lepidocrocite*) dengan kode referensi 01-070-8045. Sedangkan uji XRD sampel rendam pH 7 tanpa penambahan inhibitor, menghasilkan 2 puncak tertinggi pada posisi 2 theta 40.7068 dan 44.9138. Puncak tersebut bersesuaian dengan puncak FeOOH (*Goethite*) dengan kode referensi ICDD 00-029-0713.



(a)



(b)

Gambar 4.11 Hasil Pengujian XRD Sampel Rendam pada pH 4 dan pH 7 (a) Tanpa Inhibitor dan (b) dengan Inhibitor



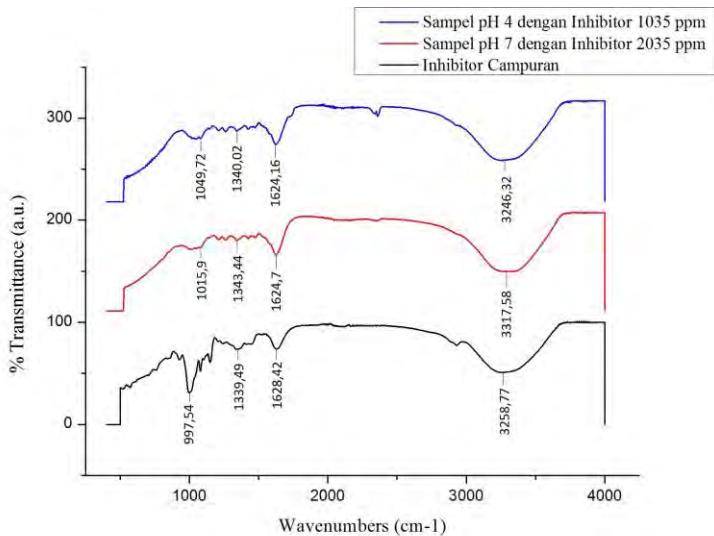
FeOOH merupakan produk yang paling banyak terbentuk dari reaksi korosi yang terjadi pada besi dan baja (Cicek, 2014). Selain itu, Matsubara (2005) menyatakan bahwa FeOOH (Goethite) merupakan salah satu produk korosi yang terbentuk antara Fe dengan larutan NaCl. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan berwarna cokelat pada permukaan sampel yang terlihat saat pengamatan visual adalah lapisan FeOOH yang merupakan produk korosi yang terbentuk dari reaksi baja API 5 L grade B dengan larutan pH 4 dan pH 7.

Hasil XRD pada permukaan sampel rendam dengan penambahan inhibitor (gambar 4.11b) menunjukkan bahwa puncak tertinggi yang diperoleh bersesuaian dengan puncak Fe dengan kode referensi ICDD 00-006-0696. Tidak terdapatnya produk korosi yang menempel pada permukaan sampel dapat disebabkan karena produk korosi yang dihasilkan terlarut dalam larutan.

IV.1.6 Hasil Pengujian FTIR pada Permukaan Sampel Hasil Rendaman

Pengujian FTIR juga dilakukan pada spesimen yang telah direndam dalam larutan elektrolit yang ditambahkan inhibitor untuk menganalisis apakah terbentuk lapisan inhibitor pada permukaan spesimen atau tidak. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan hasil uji FTIR sampel dengan hasil uji FTIR inhibitor campuran.

Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan *peak* yang diperoleh dari pengujian FTIR pada permukaan sampel rendam pH 4 dan pH 7 serta *peak* hasil uji FTIR inhibitor campuran. Hasil analisis dan perbandingan ikatan gugus fungsi yang dilakukan (tabel 4.6) menunjukkan bahwa terdapat beberapa ikatan gugus fungsi inhibitor yang juga ditemukan di permukaan sampel. Ikatan gugus fungsi tersebut adalah O-H milik senyawa alkohol dan fenol, C=O milik senyawa keton, O-H milik senyawa alkohol, dan P-O milik *phosphorus compound* yang berasal dari senyawa amilopektin.



Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Uji FTIR Permukaan Sampel Rendam dan Inhibitor

Tabel 4.6 Analisis Kesamaan Wavenumbers pada Hasil Uji FTIR Sampel Rendam dan Inhibitor

Wavenumbers (cm-1)			Wave numbers Range (cm-1)	Intens itas	Ikatan	Jenis Senyawa
Sampel pH 4	Sampel pH 7	Inhibitor				
3246,32	3317,58	3258,77	3400-3230	s., br.	O-H	Alcohols and phenols (polymeric intramolecularly hydrogen bonded)
1624,16	1624,7	1628,42	1640-1535	s., d.	C=O	Ketones
1340,02	1343,44	1339,49	1350-1260	s.	O-H	Primary C-O-H
1049,72	1015,9	997,54	1240-900	v.	P-O	Phosphorus compounds (P-OH)



Adanya ikatan gugus fungsi yang sama pada ketiga hasil FTIR mengindikasikan bahwa terdapat senyawa kompleks tanin-polisakarida pada permukaan sampel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan hitam yang terdapat pada permukaan sampel setelah proses perendaman merupakan senyawa kompleks tanin-polisakarida yang berperan sebagai lapisan inhibitor.

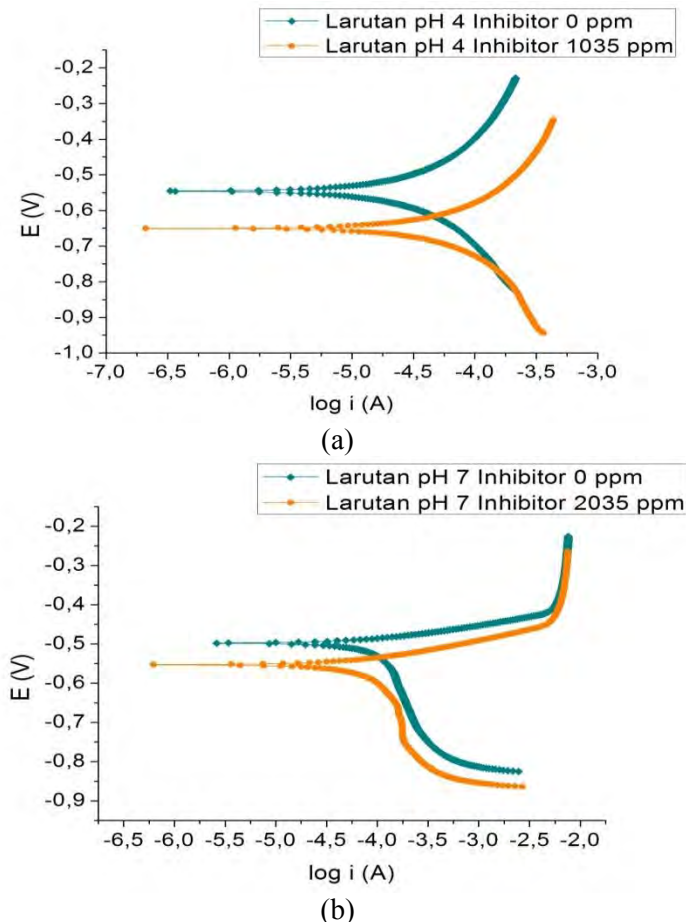
IV.1.7. Hasil Pengujian Tafel

Pengujian analisis tafel dilakukan untuk mengetahui laju korosi serta perilaku korosi yang terjadi antara elektrolit dengan sampel. Software yang digunakan dalam pengujian ini adalah NOVA, dengan kecepatan pembacaan titik (*scan rate*) diatur sebesar 0.001 V/detik terhadap potensial korosi. Elektroda bantu (*counter electrode*) yang digunakan adalah anoda platina.

Dari analisis kurva tafel (gambar 4.13) yang dilakukan, diperoleh parameter elektrokimia berupa nilai *ba* (gradien tafel anodik), *bc* (gradien tafel katodik), *E_{corr}* (potensial korosi), *icorr* (kerapatan arus korosi), serta laju korosi yang ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel
Baja API 5 L Grade B pada pH 4 dan 7

pH	Konsentrasi Inibitor (ppm)	<i>ba</i> (mV/dec)	<i>bc</i> (mV/dec)	<i>E_{corr}</i> (mV)	<i>icorr</i> (μ A)	Laju Korosi (mm/yr) (mpy)
4	0	505,07	492,02	-546,01	70,468	0,135 5,330
	1035	445,6	360,36	-650,47	113,43	0,228 8,965
7	0	585,27	44,438	-497,74	106,68	0,219 8,625
	2035	237,38	51,18	-552,98	70,142	0,144 5,671



Gambar 4.13 Hasil Kurva Tafel API 5 L Grade B (a) pada pH 4
(b) pada pH 7

Data pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor pada pH 4 tidak dapat menurunkan laju korosi baja API 5 L grade B. Akan tetapi terjadi pergeseran nilai E_{corr} menjadi lebih negatif (gambar 4.13.a), yang mengindikasikan bahwa inhibitor telah bereaksi dengan larutan sehingga mengganggu



reaksi katodik. Hasil pengujian tafel yang diperoleh tidak sesuai dengan hasil uji *weight loss*. Perbedaan ini diduga terjadi karena pada pH 4 terdapat reaksi antara polisakarida (amilosa dan amilopektin) dengan asam asetat, yang merupakan salah satu reaksi pembentukan ester. Menurut Meister (1998), reaksi pembentukan ester antara polisakarida dengan asam asetat membutuhkan katalis asam sulfat untuk mempercepat reaksi. Pada penelitian ini, tidak ada penambahan asam sulfat sebagai katalis, sehingga pada pengujian tafel dengan lama perendaman 30 menit, diduga reaksi inhibitor dengan lingkungannya masih belum selesai sehingga inhibitor belum dapat bekerja menghambat laju korosi. Sedangkan pada uji *weight loss* dengan waktu perendaman 1 minggu, reaksi pembentukan ester tersebut sudah selesai, sehingga inhibitor mampu menghambat laju korosi.

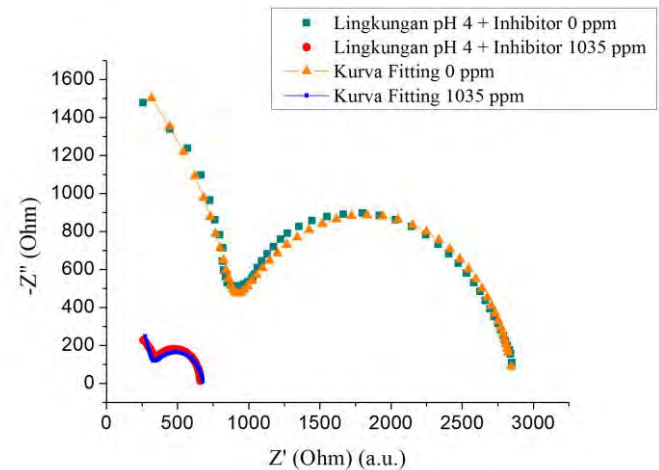
Pada lingkungan dengan pH 7, penambahan inhibitor sebanyak 2035 ppm dapat menurunkan laju korosi dengan persen inhibisi sebesar 34,25%. Mekanisme kerja inhibitor pada lingkungan pH 7 dapat dianalisis dengan melihat perubahan nilai *Ecorr*. Penambahan inhibitor campuran pada lingkungan pH 7 membuat *Ecorr* menjadi lebih negatif dengan selisih sebesar 55,24 mV. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka merupakan jenis inhibitor campuran yang bekerja dengan melibatkan proses adsorpsi pada permukaan logam.

IV.1.8 Hasil Pengujian EIS

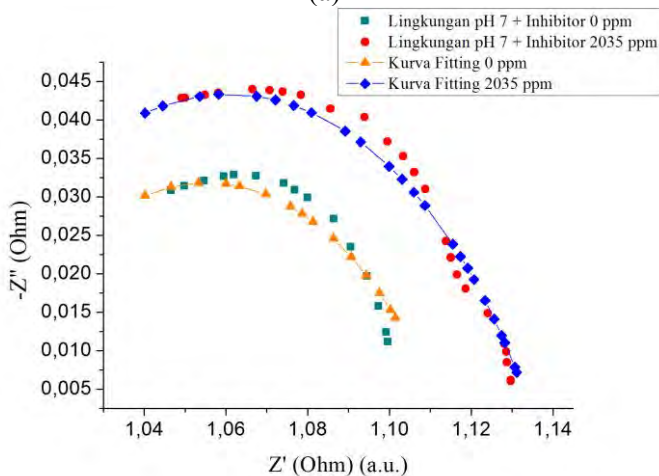
Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada sampel baja API 5L grade B dalam lingkungan pH 4 dan pH 7. Hasil pengukuran EIS digambarkan pada kurva Nyquist yang dinyatakan dalam fungsi Z' yang menyatakan impedansi real dan fungsi Z'' yang menyatakan impedansi imajiner. Software yang digunakan dalam pengujian ini adalah



NOVA. Kurva Nyquist yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 4.14.



(a)



(b)

Gambar 4.14 Kurva Nyquist untuk Baja API 5L Grade B pada (a) pH 4 dan (b) pH 7



Dari gambar 4.14 (a), diketahui diameter kurva Nyquist pada lingkungan pH 4 dengan penambahan inhibitor lebih kecil daripada tanpa penambahan inhibitor. Sedangkan pada gambar 4.14 (b) terlihat bahwa diameter kurva Nyquist pada lingkungan pH 7 dengan penambahan inhibitor lebih besar daripada tanpa penambahan inhibitor. Perbedaan diameter ini berhubungan dengan nilai hambatan larutan atau R_s (*Solution Resistance*), hambatan polarisasi atau R_p (*Polarization Resistance*), serta kapasitansi yang berupa CPE (*Constant Phase Element*) yang ditunjukkan pada tabel 4.8. Semakin besar diameter kurva Nyquist yang diperoleh menunjukkan semakin besar hambatan yang dihasilkan.

Dari proses *fit and simulation* yang dilakukan, diperoleh *equivalent circuit* seperti pada gambar 4.15. Dari *equivalent circuit* tersebut diperoleh nilai R_s , R_p , dan CPE pada tabel 4.8.

	Tanpa Inhibitor	Dengan Inhibitor
pH 4		
pH 7		

Gambar 4.15 *Equivalent Circuit* Hasil Pengujian EIS

Equivalent circuit yang diperoleh pada gambar 4.15 merupakan jenis *Randles circuit*, yang menunjukkan bahwa terjadi proses korosi merata (A.G. Metrohm, Autolab Application Note 19). Sehingga dapat disimpulkan bahwa korosi yang terjadi pada baja API 5 L grade B pada lingkungan pH 4 dan pH 7 adalah korosi merata.

**Tabel 4.8** Hasil Analisis Pengujian EIS

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Rs (Ω)	Rp (Ω)		CPE 1		CPE 2	
			Rp 1 (Ω)	Rp 2 (Ω)	Y0 (nMho)	n	Y0 (nMho)	n
4	0	2420	2010	4250	131	0,903	126×10^{-3}	1.012
	1035	1480	377	1790	504	0,86	178×10^{-3}	0,969
7	0	0,997		0,116	$23,9 \times 10^6$	0,638		
	2035	1,421		0,15	$12,9 \times 10^6$	0,667		

Data pada tabel 4.8 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor pada pH 4 tidak dapat meningkatkan Rs dan Rp, sehingga hal ini menyebabkan naiknya nilai CPE. Hasil pengujian EIS ini bersesuaian dengan hasil pengujian tafel pada tabel 4.7 yang menunjukkan semakin tingginya *icorr* dengan adanya penambahan inhibitor.

Pada lingkungan dengan pH 7, penambahan inhibitor dapat meningkatkan nilai Rs dan Rp, yang menyebabkan turunnya nilai CPE. Meningkatnya nilai Rs menunjukkan bahwa inhibitor bereaksi dengan larutan elektrolit sehingga menyebabkan menurunnya kemampuan elektrolit untuk menghantarkan arus listrik yang berdampak pada menurunnya nilai *icorr* yang diperoleh dari uji tafel (tabel 4.7). Selain itu, penurunan nilai Rp dipengaruhi oleh perilaku kinetik dari reaksi yang terjadi pada elektroda, yaitu proses transfer muatan dari elektroda ke larutan (He, 2008). Sehingga dapat diindikasikan bahwa penurunan nilai Rp terjadi karena adanya lapisan inhibitor pada permukaan sampel yang menghambat proses transfer muatan dari sampel ke larutan. Hal ini juga didukung oleh penurunan nilai CPE. Menurut Rosliza (2009), nilai kapasitansi (Cdl atau CPE) berbanding terbalik dengan jarak antara dua konduktor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan CPE terjadi karena adanya peningkatan *surface coverage* oleh lapisan inhibitor. Penambahan inhibitor pada lingkungan pH 7 mampu meningkatkan nilai Rs dan Rp, yang menunjukkan bahwa inhibitor bekerja dengan cara mengganggu reaksi pada logam dan



pada larutan. Oleh karena itu, inhibitor dapat dikategorikan dalam jenis inhibitor campuran, yang juga bersesuaian dengan hasil uji tafel.

IV.1.9 Mekanisme Adsorpsi

Untuk mengidentifikasi jenis adsorpsi yang terjadi antara inhibitor dengan permukaan baja, maka perlu dilakukan perhitungan isoterm adsorpsi. Penentuan teori isoterm yang dapat digunakan dilakukan dengan analisis regresi linear untuk masing-masing teori adsorpsi, yaitu teori Langmuir dan Freundlich.

Jika data yang diambil untuk perhitungan adalah konsentrasi inhibitor 785 ppm pada pH 4 dengan data *weight loss* tanpa inhibitor adalah 0,054 gram data *weight loss* dengan inhibitor adalah 0,032 gram, maka dilakukan perhitungan nilai c/θ sebagai berikut:

$$\theta = \frac{wt\ loss\ uninhibited - wt\ loss\ inhibited}{wt\ loss\ uninhibited}$$
$$\theta = \frac{0,053 - 0,031}{0,053} = 0,414$$
$$\frac{c}{\theta} = \frac{785}{0,414} = 1896$$

Sehingga diperoleh hasil perhitungan c/θ untuk semua konsentrasi inhibitor yang diplot dalam grafik pada gambar 4.16. Kemudian dilakukan analisis regresi linear untuk menentukan nilai koefisien korelasi (R^2). Dari data tersebut, maka isoterm adsorpsi yang dapat digunakan adalah teori isoterm adsorpsi Langmuir karena memiliki nilai R^2 mendekati 1.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai $K_{adsorpsi}$ sesuai dengan teori isoterm adsorpsi Langmuir. Untuk konsentrasi inhibitor 785 ppm pada pH 4 dengan nilai θ sebesar 0,414, maka:

$$K_{ads} = \frac{\theta}{c(1 - \theta)}$$

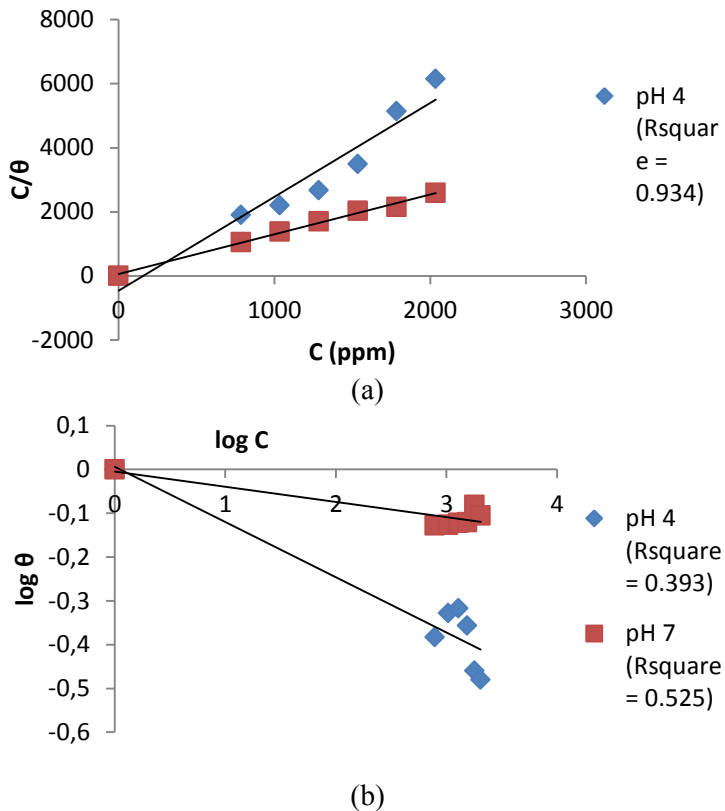


$$K_{\text{ads}} = \frac{0,414}{785 \text{ ppm} (1 - 0,414)} = 8,99 \times 10^{-4} \text{ ppm}^{-1}$$

$$8,99 \times 10^{-4} \text{ ppm}^{-1} = 8,99 \times 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{mg}} = 0,899 \frac{\text{L}}{\text{g}}$$

$$K_{\text{ads}} = 0,899 \frac{\text{L}}{\text{g}}$$

Sehingga diperoleh hasil perhitungan K_{adsorpsi} untuk semua konsentrasi inhibitor yang ditunjukkan pada tabel 4.11.



Gambar 4.16 Kurva Isoterm Adsorpsi (a) Langmuir dan (b) Freundlich untuk pH 4 dan pH 7



Perhitungan energi bebas adsorpsi (ΔG) dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui apakah adsorpsi yang terjadi merupakan fisisorpsi atau kemisorpsi. Untuk mengetahui nilai ΔG , maka dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp\left(\frac{-\Delta G}{RT}\right)$$

$$\Delta G = -RT \ln(55,5 \times K_{ads})$$

Dengan R adalah konstanta Gas Ideal ($8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol K), T adalah temperatur (298 K), dan K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/g). Angka 55,5 merupakan konsentrasi air (mol/L), yang pada perhitungan kali ini diganti dengan 1000 g/L karena satuan konsentrasi yang digunakan adalah ppm (mg/L) (Eid, 2014). Sehingga, untuk konsentrasi inhibitor 785 ppm pada pH 4 dengan nilai K_{ads} adalah 0,899 L/g, maka ΔG -nya adalah:

$$\Delta G = -RT \ln(1000 \times K_{ads})$$

$$\Delta G = -0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{molK}} \times 298 \text{ K} \times \ln\left(1000 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 0,899 \frac{\text{L}}{\text{g}}\right)$$

$$\Delta G = -16,852 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Hasil perhitungan ΔG untuk semua konsentrasi inhibitor ditunjukkan pada tabel 4.9 yang menunjukkan bahwa nilai ΔG berada pada *range* -13 kJ/mol sampai dengan -21 kJ/mol. Menurut El-Etre (1998), jika nilai ΔG lebih negatif dari -40 kJ/mol, maka adsorpsi yang terjadi adalah kemisorpsi, sedangkan jika nilai ΔG lebih positif dari -40 kJ/mol, maka adsorpsi yang terjadi merupakan fisisorpsi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan sampel adalah fisisorpsi.



Tabel 4.9 Nilai Energi Bebas Adsorpsi (ΔG) Baja API 5 L pada Lingkungan pH 4 dan pH 7 dengan Penambahan Inhibitor

Konsentrasi (ppm)	pH 4			pH7		
	Surface Coverage (θ)	Kads (L/g)	ΔG (kJ/mol)	Surface Coverage (θ)	Kads (L/g)	ΔG (kJ/mol)
0	0	0	0	0	0	0
785	0,414	0,899	-16,852	0,745	3,724	-20,373
1035	0,470	0,856	-16,730	0,748	2,865	-19,724
1285	0,482	0,724	-16,314	0,755	2,392	-19,276
1535	0,440	0,511	-15,452	0,757	2,032	-18,872
1785	0,347	0,298	-14,113	0,829	2,715	-19,591
2035	0,331	0,243	-13,610	0,785	1,791	-18,559

IV.2. Pembahasan

Inhibitor yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka. Untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam inhibitor maka dilakukan pengujian FTIR. Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa ekstrak daun jambu biji mengandung tanin, yang juga didukung oleh hasil pengujian kadar tanin dalam ekstrak daun jambu biji yang menunjukkan bahwa kadar tanin dalam 250 mg ekstrak daun jambu biji adalah sebesar $10,93 \pm 0,90$ %. Sedangkan uji FTIR pada tapioka menunjukkan bahwa tapioka mengandung polisakarida berupa amilosa dan amilopektin. Ketika dilakukan pencampuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka, hasil uji FTIR menunjukkan bahwa terdapat beberapa ikatan kimia pada tanin dan polisakarida yang putus, sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi reaksi kimia antara keduanya yang membentuk senyawa kompleks tanin-polisakarida. Akan tetapi, reaksi yang terjadi merupakan reaksi *reversible* sehingga senyawa kompleks dapat dengan mudah terurai kembali (Gayon, 2006).

Pengamatan visual dilakukan terhadap permukaan sampel dan larutan rendam sebelum dan sesudah proses perendaman. Sebelum proses perendaman, tidak ada produk korosi yang



menempel pada permukaan sampel. Akan tetapi, setelah dilakukan proses perendaman, terdapat lapisan berwarna cokelat pada permukaan sampel yang direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 tanpa penambahan inhibitor. Lapisan ini diduga merupakan produk korosi yang dihasilkan selama proses perendaman. Sedangkan pada permukaan sampel yang direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 dengan penambahan inhibitor, terdapat lapisan berwarna hitam yang diduga merupakan lapisan inhibitor yang melindungi sampel dari korosi.

Dari pengamatan visual yang dilakukan pada larutan rendam, terlihat bahwa terjadi perubahan warna. Sebelum proses perendaman, larutan berwarna kuning kecokelatan dan sedikit keruh karena adanya penambahan tapioka. Beberapa jam setelah dilakukan perendaman, warna larutan berubah menjadi hitam. Perubahan warna ini terjadi karena adanya reaksi antara ion Fe dengan anion yang berasal dari tanin, yang membentuk senyawa kompleks dan menyebabkan warna larutan berubah menjadi hitam.

Dari pengujian *weight loss*, diperoleh persen inhibisi tertinggi pada pH 4 sebesar 50,54% dengan penambahan inhibitor campuran sebanyak 1035 ppm pada perendaman 2 minggu. Sedangkan persen inhibisi yang diperoleh dari penambahan 785 ppm inhibitor ekstrak daun jambu biji pada pH dan waktu perendaman yang sama adalah sebesar 42,52%. Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan 250 ppm tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji dapat meningkatkan persen inhibisi sebesar 8,02% pada lingkungan pH 4. Untuk lingkungan pH 7, diperoleh persen inhibisi tertinggi sebesar 79,32% pada waktu perendaman 1 minggu dengan penambahan inhibitor campuran sebanyak 2035 ppm. Sedangkan persen inhibisi yang diperoleh dari penambahan 785 ppm inhibitor ekstrak daun jambu biji pada pH dan waktu perendaman yang sama adalah sebesar 76,26%. Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan 1250 ppm tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji dapat meningkatkan persen inhibisi sebesar 3,06% pada lingkungan pH 7. Secara



keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penambahan tapioka pada 785 ppm ekstrak daun jambu biji tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan persen inhibisi korosi baja API 5L grade B di lingkungan pH 4 dan pH 7.

Untuk mengidentifikasi lapisan cokelat dan hitam yang terbentuk pada permukaan sampel setelah proses perendaman, maka dilakukan pengujian XRD dan FTIR. Pengujian XRD dilakukan terhadap permukaan sampel yang telah direndam dalam larutan pH 4 dan pH 7 tanpa dan dengan penambahan inhibitor untuk mengidentifikasi produk korosi yang terbentuk. Dari pengujian XRD yang dilakukan, diketahui bahwa produk korosi yang terlihat sebagai lapisan cokelat di permukaan sampel rendam tanpa penambahan inhibitor merupakan senyawa FeOOH , yang terbentuk karena adanya reaksi antara Fe dengan larutan pH 4 dan pH 7. Sedangkan pada permukaan sampel rendam dengan penambahan inhibitor tidak terdapat produk korosi. Hal ini dapat disebabkan karena produk korosi yang dihasilkan terlarut dalam larutan.

Pengujian FTIR dilakukan terhadap permukaan sampel yang telah direndam dalam larutan dengan penambahan inhibitor untuk mengidentifikasi lapisan hitam pada permukaan sampel yang terlihat dari pengamatan visual. Dari hasil uji FTIR yang dilakukan, diketahui bahwa lapisan pada permukaan sampel memiliki beberapa ikatan gugus fungsi yang sama dengan ikatan gugus fungsi pada inhibitor. Ikatan gugus fungsi tersebut adalah O-H milik senyawa alkohol dan fenol, C=O milik senyawa keton, O-H milik senyawa alkohol, dan P-O milik *phosphorus compound* yang berasal dari senyawa amilopektin. Adanya kesamaan ikatan gugus fungsi tersebut membuktikan bahwa lapisan hitam yang menempel pada permukaan sampel merupakan lapisan senyawa kompleks tanin-polisakarida yang berperan sebagai inhibitor korosi.

Untuk mengetahui mekanisme kerja inhibitor, dilakukan pengujian elektrokimia terhadap spesimen baja API 5 L grade B pada larutan tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor



pada pH 4 dan pH 7. Pengujian tafel pada pH 4 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor campuran 1035 ppm tidak dapat menurunkan laju korosi. Akan tetapi terjadi pergeseran nilai *E_{corr}* menjadi lebih negatif, yang mengindikasikan bahwa inhibitor telah bereaksi dengan larutan sehingga mengganggu reaksi katodik. Hasil pengujian tafel yang diperoleh tidak sesuai dengan hasil uji *weight loss*. Perbedaan ini diduga terjadi karena pada pH 4 terdapat reaksi antara polisakarida (amilosa dan amilopektin) dengan asam asetat, yang merupakan salah satu reaksi pembentukan ester. Menurut Meister (1998), reaksi pembentukan ester antara polisakarida dengan asam asetat membutuhkan katalis asam sulfat untuk mempercepat reaksi. Pada penelitian ini, tidak ada penambahan asam sulfat sebagai katalis, sehingga pada pengujian tafel dengan lama perendaman 30 menit, diduga reaksi inhibitor dengan lingkungannya masih belum selesai sehingga inhibitor belum dapat bekerja menghambat laju korosi. Sedangkan pada uji *weight loss* dengan waktu perendaman 1 minggu, reaksi pembentukan ester tersebut sudah selesai, sehingga inhibitor mampu menghambat laju korosi. Hal ini juga didukung oleh hasil pengujian EIS yang menunjukkan bahwa penambahan inhibitor pada pH 4 tidak dapat meningkatkan R_s dan R_p , sehingga hal ini menyebabkan naiknya nilai CPE. Nilai CPE berbanding lurus dengan nilai *i_{corr}* dari hasil tafel. Sehingga dari hasil pengujian tafel dan EIS, dapat disimpulkan bahwa pada pH 4, inhibitor membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menurunkan laju korosi.

Hasil uji tafel pada lingkungan dengan pH 7 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor campuran sebanyak 2035 ppm dapat menurunkan laju korosi dengan persen inhibisi sebesar 34,25%. Mekanisme kerja inhibitor pada lingkungan pH 7 dapat dianalisis dengan melihat perubahan nilai *E_{corr}*. Penambahan inhibitor pada lingkungan pH 7 membuat *E_{corr}* menjadi lebih negatif dengan selisih sebesar 55,24 mV. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap



potensial korosi tanpa inhibitor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka merupakan jenis inhibitor campuran yang bekerja dengan melibatkan proses adsorpsi pada permukaan logam. Hal ini juga bersesuaian dengan hasil uji EIS pada pH 7 yang menunjukkan bahwa penambahan inhibitor dapat meningkatkan R_s dan R_p , yang menyebabkan turunnya nilai CPE. Meningkatnya nilai R_s menunjukkan bahwa inhibitor bereaksi dengan larutan elektrolit sehingga menyebabkan menurunnya kemampuan elektrolit untuk menghantarkan arus listrik yang berdampak pada menurunnya nilai i_{corr} yang diperoleh dari uji tafel. Selain itu, penurunan nilai R_p dipengaruhi oleh perilaku kinetik dari reaksi yang terjadi pada elektroda, yaitu proses transfer muatan dari elektroda ke larutan (He, 2008). Sehingga dapat diindikasikan bahwa penurunan nilai R_p terjadi karena adanya lapisan inhibitor pada permukaan sampel yang menghambat proses transfer muatan dari sampel ke larutan. Hal ini juga didukung oleh penurunan nilai CPE. Menurut Rosliza (2009), nilai kapasitansi (Cdl atau CPE) berbanding terbalik dengan jarak antara dua konduktor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan kapasitansi terjadi karena adanya peningkatan *surface coverage* oleh lapisan inhibitor. Penambahan inhibitor pada lingkungan pH 7 mampu meningkatkan nilai R_s dan R_p , yang menunjukkan bahwa inhibitor bekerja dengan cara mengganggu reaksi pada logam dan pada larutan, yang merupakan cara kerja dari inhibitor campuran.

Jenis inhibitor campuran bekerja dengan melibatkan proses adsorpsi pada permukaan sampel. Untuk mengidentifikasi jenis adsorpsi yang terjadi antara inhibitor dengan permukaan sampel, maka perlu dilakukan perhitungan isoterm adsorpsi. Dari perhitungan energi bebas adsorpsi (ΔG) berdasarkan teori isoterm adsorpsi Langmuir, diperoleh nilai ΔG berada pada *range* -13 kJ/mol sampai dengan -21 kJ/mol. Menurut El-Etre (1998), jika nilai ΔG lebih negatif dari -40 kJ/mol, maka adsorpsi yang terjadi adalah kemisorpsi, sedangkan jika nilai ΔG lebih positif dari -40 kJ/mol, maka adsorpsi yang terjadi merupakan fisisorpsi.



Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan sampel adalah fisisorpsi.

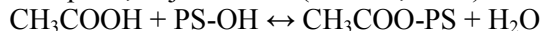
Secara keseluruhan, mekanisme inhibisi korosi sampel baja API 5L grade B oleh inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penambahan tapioka pada ekstrak daun jambu biji menyebabkan terjadinya reaksi pembentukan senyawa kompleks tanin-polisakarida. Reaksi ini merupakan reaksi *reversible* sehingga senyawa kompleks dapat dengan mudah terurai kembali (Gayon, 2006).
2. Saat baja direndam dalam larutan, ia mengalami reaksi oksidasi sehingga menghasilkan ion Fe^{2+} , yang merupakan reaksi anodik.



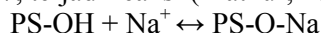
3. Penambahan inhibitor campuran pada larutan pH 4 dan pH 7 menyebabkan terjadinya reaksi antara inhibitor dengan larutan, sehingga inhibitor mengganggu reaksi katodik.

Pada larutan pH 4, terjadi reaksi (Meister, 1998):

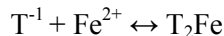


Reaksi tersebut membutuhkan adanya katalis asam sulfat, sehingga tanpa adanya penambahan asam sulfat, reaksi akan berlangsung cukup lama. Hal ini menyebabkan inhibitor belum dapat menurunkan laju korosi pada pengujian tafel di lingkungan pH 4.

Pada larutan pH 7, terjadi reaksi (Mathur, 2011):



Selain itu, pada larutan pH 4 dan pH 7 juga terjadi reaksi (Hem, 1960):



yang menyebabkan perubahan warna larutan menjadi hitam.
keterangan:

PS-OH = polisakarida,

T^{-1} = anion tanin $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOC}_6\text{H}_2(\text{OH})_2\text{COO}^{-1}$



4. Terjadi reaksi fisisorpsi pada permukaan sampel yang melibatkan gugus fungsi O-H, C=O, dan P-O, yang berasal dari senyawa kompleks tanin-polisakarida.

Terjadinya reaksi antara inhibitor dengan larutan menyebabkan terhambatnya reaksi katodik yang terjadi. Selain itu, proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan sampel juga menyebabkan terhambatnya reaksi anodik, sehingga secara keseluruhan laju korosi mengalami penurunan. Inhibitor ekstrak daun jambu biji dan tapioka bekerja dengan mengganggu reaksi anodik dan katodik, serta melibatkan proses adsorpsi, sehingga inhibitor tersebut termasuk dalam jenis inhibitor campuran (*mixed-type inhibitor*).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka dapat menghambat laju korosi dengan konsentrasi optimum 1035 ppm pada pH 4 dengan waktu perendaman 2 minggu dan konsentrasi optimum 2035 ppm pada pH 7 dengan waktu perendaman 1 minggu. Akan tetapi, pengaruh penambahan tapioka pada ekstrak daun jambu biji tidak signifikan dalam menurunkan laju korosi dilihat dari peningkatan persen inhibisinya.
2. Inhibitor campuran ekstrak daun jambu biji dan tapioka mampu bekerja lebih efektif di lingkungan pH 7 daripada pH 4.
3. Inhibitor ekstrak daun jambu biji yang dicampur dengan tapioka merupakan jenis inhibitor campuran (*mixed inhibitor*) yang bekerja dengan cara mengganggu reaksi anodik dan katodik serta melibatkan adsorpsi fisika (fisisorpsi) antara permukaan sampel dengan inhibitor.

V.2 Saran

1. Pengujian *weight loss* dilengkapi dengan data perendaman kurang dari 1 minggu sehingga dapat diketahui waktu yang dibutuhkan inhibitor untuk mulai bekerja pada lingkungan pH 4.
2. Pengujian *weight loss* dilengkapi dengan data perendaman sampel dengan penambahan inhibitor tapioka murni sehingga dapat dilakukan perbandingan antara kemampuan tapioka dan inhibitor campuran dalam menghambat laju korosi.
3. Pengujian tafel dan EIS dilakukan terhadap semua sampel untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi inhibitor terhadap nilai parameter elektrokimia yang diperoleh.

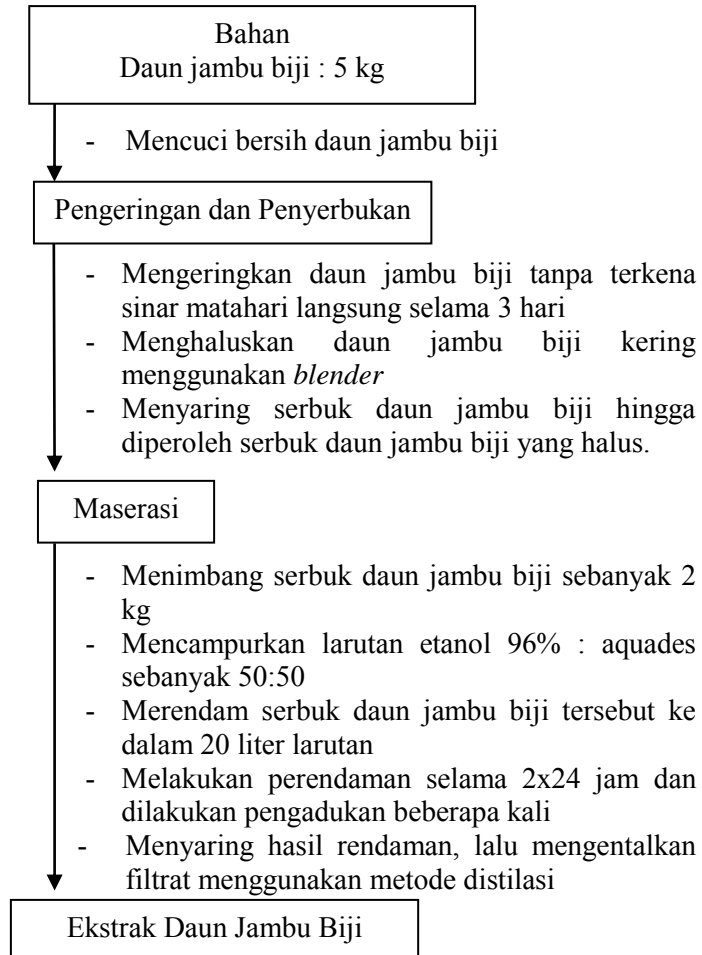


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

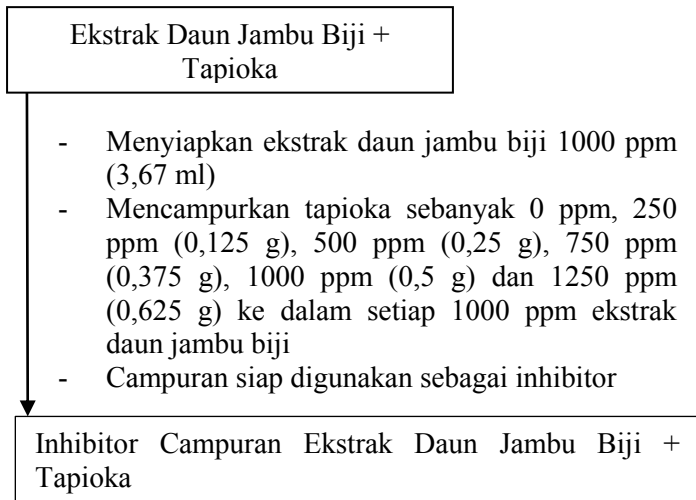
LAMPIRAN

A. Skema Kerja

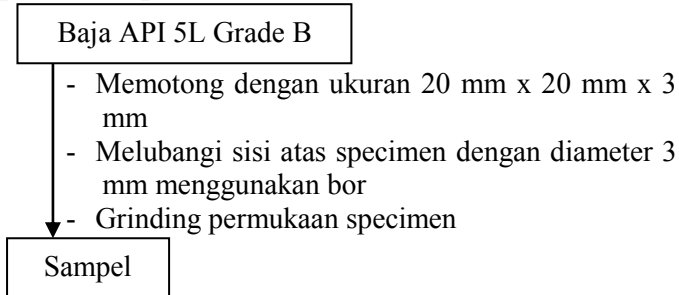
1. Pembuatan Ekstrak Daun Jambu Biji



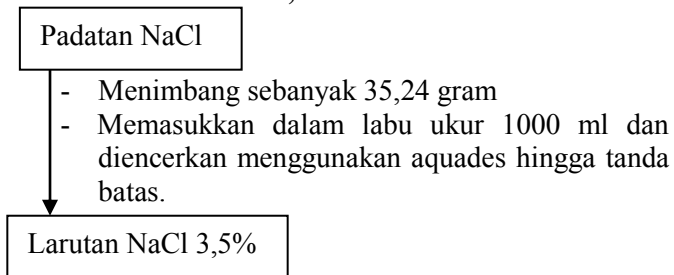
2. Pembuatan Inhibitor Campuran



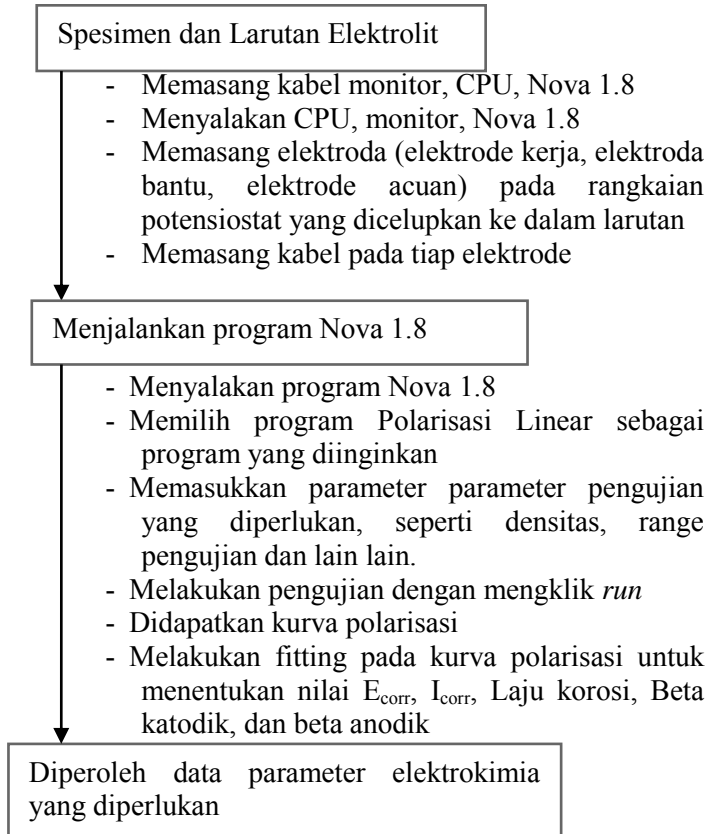
3. Preparasi Sampel Baja API 5 L Grade B



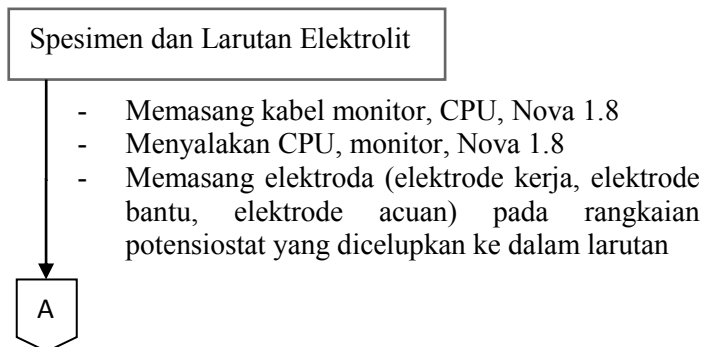
4. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

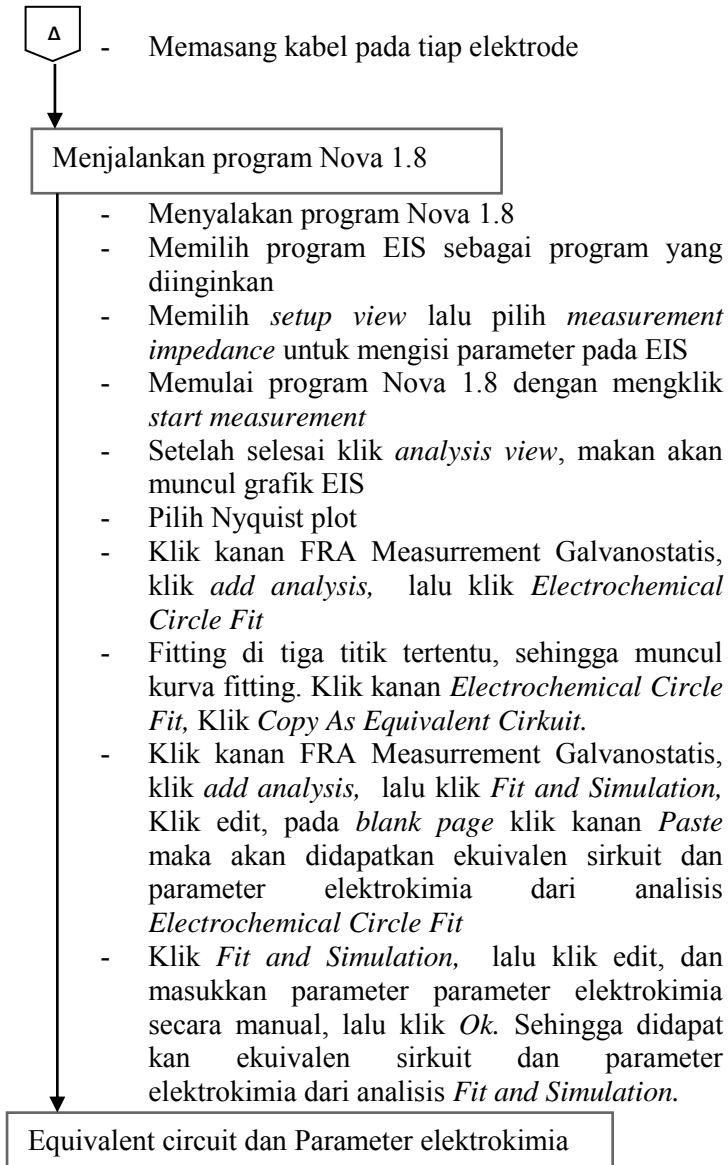


5. Prosedur Uji Tafel Polarisasi



6. Prosedur Uji EIS





B. Proses Perhitungan

1. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL

Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

$$\begin{aligned}\rho_{campuran} &= \rho_{air} + \rho_{NaCl} \\ &= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%) \\ \rho &= 1.007 \text{ g/mL} \\ \rho &= \frac{m}{V} \\ m &= \rho \times V \\ m &= 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL} \\ m &= 1007 \text{ gram}\end{aligned}$$

sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Perhitungan ppm Inhibitor

- **Perhitungan ppm Ekstrak Daun Jambu Biji**

Diketahui :

- 3,7 ml ekstrak dilarutkan dalam 500 ml larutan

- 3,7 ml ekstrak yang digunakan memiliki massa 3590 mg

- kadar tanin dalam 250 mg ekstrak adalah 10,93%

Ditanya : berapa ppm tanin dalam 3,7 ml ekstrak?

Jawab:

$$3590 \text{ mg ekstrak} = 392,387 \text{ mg tanin}$$

$$1 \text{ ppm tanin} = 1 \frac{\text{mg tanin}}{\text{l larutan}}$$

$$392,387 \frac{\text{mg tanin}}{0,5 \text{ l larutan}} = 785 \frac{\text{mg tanin}}{\text{l larutan}} = 785 \text{ ppm}$$

- **Perhitungan ppm Tapioka**

a. Diketahui:

Konsentrasi inhibitor = 250 ppm

Ditanya : massa tapioka dalam 500 ml elektrolit

Jawab :

$$\begin{aligned} 500 \text{ ppm} &= 250 \text{ mg/liter} \\ 500 \text{ ppm} &= 125 \text{ mg/500 ml} \\ &= 0,125 \text{ gram/500 ml} \end{aligned}$$

b. Diketahui:

Konsentrasi inhibitor = 500 ppm

Ditanya : massa tapioka dalam 500 ml elektrolit

Jawab :

$$\begin{aligned} 500 \text{ ppm} &= 500 \text{ mg/liter} \\ 500 \text{ ppm} &= 250 \text{ mg/500 ml} \\ &= 0,25 \text{ gram/500 ml} \end{aligned}$$

c. Diketahui:

Konsentrasi inhibitor = 750 ppm

Ditanya : massa tapioka dalam 500 ml elektrolit

Jawab :

$$\begin{aligned} 500 \text{ ppm} &= 750 \text{ mg/liter} \\ 500 \text{ ppm} &= 375 \text{ mg/500 ml} \\ &= 0,375 \text{ gram/500 ml} \end{aligned}$$

d. Diketahui:

Konsentrasi inhibitor = 1000 ppm

Ditanya : massa tapioka dalam 500 ml elektrolit

Jawab :

$$\begin{aligned} 500 \text{ ppm} &= 1000 \text{ mg/liter} \\ 500 \text{ ppm} &= 500 \text{ mg/500 ml} \\ &= 0,5 \text{ gram/500 ml} \end{aligned}$$

e. Diketahui:

Konsentrasi inhibitor = 1250 ppm

Ditanya : massa tapioka dalam 500 ml elektrolit

Jawab :

$$\begin{aligned} 500 \text{ ppm} &= 1250 \text{ mg/liter} \\ 500 \text{ ppm} &= 625 \text{ mg/500 ml} \\ &= 0,625 \text{ gram/500 ml} \end{aligned}$$

3. Uji *Weight Loss*

a. Perhitungan Laju Korosi *Weight Loss*

$$mpy = k \frac{w}{DAT}$$

Dimana :

w : berat yang hilang (g)

D : *density* (rapat massa) spesimen (g/cm^3)

A : luas permukaan spesimen (cm^2)

T : waktu ekspose (jam)

K : konstanta ($3,45 \times 10^6$)

mpy : *mills per year* (1 mils = 1 mili inchi = 1/1000 inchi)

b. Perhitungan Persen Inhibisi

$$IE = \frac{(CR)_0 - (CR)_i}{(CR)_0} \times 100$$

Keterangan:

IE= Efisiensi inhibitor atau Persen Inhibisi (%)

CR_0 = Laju korosi tanpa inhibitor (mpy)

CR_i = Laju korosi diberi inhibitor (mpy)

4. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C$$

$$K_{ads} = \frac{\theta}{C(1-\theta)}$$

$$\theta = \frac{wt \text{ loss uninhibited} - wt \text{ loss inhibited}}{wt \text{ loss uninhibited}}$$

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

$$\theta = K_{ads} \times C$$

5. Perhitungan larutan CH_3COOH pH 4

Diketahui:

Densitas $\text{CH}_3\text{COOH} = 1,049 \text{ g/cm}^3$

$$M_r = 60,05 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CH}_3\text{COOH} &= 98\% \times 1,049 \times 1000 \text{ cm}^3 \\ &= 1028,02 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{n}{V} = \frac{m/M_r}{V} = \frac{1028,02/60,05}{1} = 17,119 \text{ M}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times M} = \sqrt{10^{-5} \times 17,119} = 0,013$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\text{pH CH}_3\text{COOH awal} = 1,88$$

- Untuk mendapatkan pH 4:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0,013 \times V_1 = 10^{-4} \times 1000 \text{ ml}$$

$$\mathbf{V_1 = 7,7 \text{ ml}}$$

Sehingga volume CH_3COOH yang dibutuhkan adalah 7,7 ml, kemudian dilarutkan dengan aquades hingga volume mencapai 1000 ml untuk mendapatkan pH 4.

C. Hasil Pengujian

1. Hasil Pengujian Spektrometer Baja API 5L Grade B



barata indonesia
PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No :	API 5L Grade B	Customer :	ITS
Furnace :	NA	Name of Equipment :	NA
Heat No :	NA	Order No :	NA
Lab. No :	28102015/00	Material :	

Spektralanalyzer Foundry-MASTER				Grade :					
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073
Ave	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
Ave	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030
Ave	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030

Town
Gresik

Date
28/10/2015

Tester
M.Vift Susanto

QC. Manager
Beny Andika ST

barata indonesia
PT. (PERSERO)

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

2. Hasil Pengujian Kadar Tanin dalam Ekstrak Daun Jambu Biji



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Kelompok Keahlian Biologi Farmasi

Sekolah Farmasi

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Telp/Fax : 62-22-2508143

HASIL PENGUJIAN KADAR TANIN

1. Sampel

- Simplisia Daun Jambu
- Ekstrak Etanol Daun Jambu

Asal sampel : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

2. Pengujian

Metode yang digunakan mengacu pada :

Determination of Tannins, Quality control methods for medicinal plant materials, WHO

Pada setiap sampel dilakukan tiga kali pengulangan pengujian.

3. Hasil pengujian

- Kadar tanin pada Simplisia Daun Jambu : $5,2 \pm 0,87$ %
- Kadar tanin pada Ekstrak Etanol Daun Jambu : $10,93 \pm 0,90$ %

4. Penguji

Dr. Irda Fidrianny

Evelyne Nadia Halim, M.Si

Eti Sumiyati

Bandung, 6 Januari 2016

Ketua KK Biologi Farmasi ITB



KK BIOLOGI FARMASI
Sekolah Farmasi ITB

Prof. Dr. Komar Ruslan Wirasutisna

NIP : 19491020 197603 1 001

3. Hasil Pengujian *Weight Loss*

a. Lingkungan pH 4 dengan Waktu Perendaman 1 Minggu

pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
4	1	0	11,692	11,665	0,027	9,976	7,106	6,921	0
			9,832	9,810	0,022	8,596	6,786		
			11,369	11,343	0,026	9,976	6,870		
		785	11,321	11,298	0,022	9,976	5,874	5,572	19,495
			11,767	11,748	0,019	9,976	5,061		
			11,320	11,298	0,022	9,956	5,781		
		1035	10,976	10,954	0,022	9,076	6,225	5,625	18,729
			12,004	11,982	0,021	9,976	5,638		
			11,398	11,377	0,021	9,976	5,612		
		1285	9,787	9,770	0,017	8,636	5,240	5,372	22,381
			12,100	12,078	0,021	9,976	5,612		
			11,254	11,233	0,021	10,436	5,264		
		1535	11,444	11,423	0,020	9,956	5,360	5,080	26,597
			11,707	11,688	0,019	9,976	4,877		
			11,400	11,382	0,018	9,516	5,003		
		1785	11,564	11,546	0,017	9,516	4,756	4,908	29,080
			10,955	10,934	0,021	9,516	5,855		
			10,728	10,708	0,019	9,976	5,061		
		2035	11,911	11,891	0,019	9,516	5,251	5,469	20,985
			12,166	12,145	0,022	10,436	5,465		
			9,983	9,964	0,019	8,596	5,691		

b. Lingkungan pH 4 dengan Waktu Perendaman 2 Minggu

pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
4	2	0	10,305	10,256	0,048	8,596	7,334	7,542	0
			10,944	10,895	0,049	9,976	6,372		
			11,616	11,557	0,059	9,976	7,749		
		785	11,603	11,572	0,031	9,976	4,091	4,335	42,523
			10,803	10,771	0,032	9,056	4,579		
			10,901	10,876	0,025	9,516	3,422		
		1035	11,585	11,551	0,034	9,976	4,419	3,730	50,538
			11,766	11,737	0,029	9,976	3,802		
			12,160	12,132	0,028	9,976	3,658		
		1285	11,097	11,066	0,030	9,956	3,981	3,760	50,145
			11,071	11,044	0,026	9,516	3,629		
			11,373	11,347	0,027	9,516	3,670		
		1535	11,104	11,075	0,029	9,516	3,986	4,006	46,879
			11,580	11,549	0,031	9,976	3,999		
			11,593	11,563	0,031	9,956	4,033		
		1785	11,981	11,946	0,034	9,976	4,523	4,664	38,157
			11,388	11,355	0,033	9,516	4,591		
			11,288	11,251	0,037	9,976	4,877		
		2035	11,729	11,694	0,035	9,976	4,641	4,707	37,586
			10,580	10,543	0,036	9,976	4,773		
			11,707	11,674	0,033	9,976	4,274		

c. Lingkungan pH 4 dengan Waktu Perendaman 3 Minggu

pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
4	3	0	11,043	10,971	0,072	9,516	6,311	6,150	0
			10,944	10,882	0,062	9,076	5,989		
			10,666	10,592	0,073	9,956	7,401		
		785	11,488	11,449	0,040	10,436	3,644	3,531	42,583
			11,961	11,923	0,038	9,516	3,357		
			12,692	12,649	0,043	9,976	3,593		
		1035	11,758	11,721	0,037	9,516	3,363	3,472	43,538
			10,590	10,548	0,041	9,516	3,986		
			10,719	10,682	0,037	10,436	3,582		
		1285	11,643	11,604	0,039	9,516	3,418	3,260	46,986
			12,175	12,137	0,038	9,976	3,330		
			11,293	11,259	0,035	9,976	3,033		
		1535	10,630	10,592	0,037	9,976	3,776	3,342	45,665
			10,376	10,340	0,036	9,976	3,449		
			11,114	11,077	0,037	9,516	3,234		
		1785	11,267	11,225	0,042	10,896	3,661	3,963	35,564
			11,132	11,085	0,047	9,956	4,108		
			12,052	12,002	0,049	9,956	4,119		
		2035	12,512	12,467	0,045	10,396	3,735	3,420	44,389
			11,210	11,175	0,035	9,056	3,024		
			11,838	11,796	0,042	10,436	3,501		

d. Lingkungan pH 7 dengan Waktu Perendaman 1 Minggu

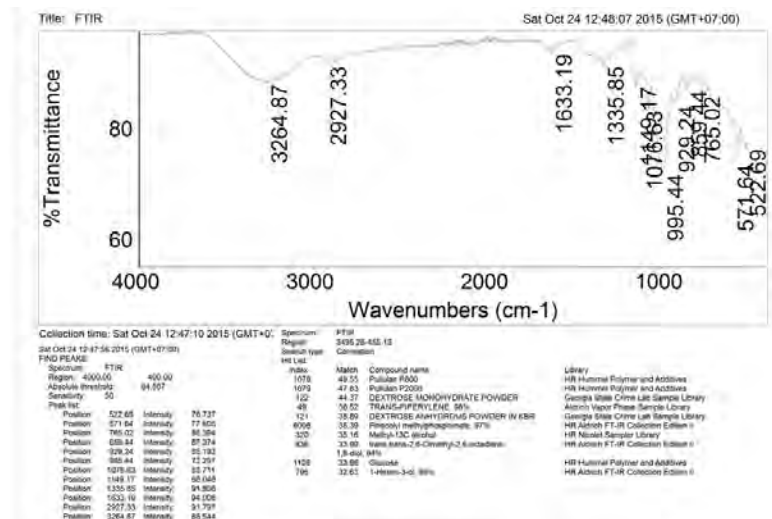
pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
7	1	0	11,357	11,329	0,028	9,516	7,642	6,977	0
			10,964	10,942	0,022	9,076	6,312		
			11,767	11,749	0,018	9,956	4,864		
		785	12,579	12,571	0,007	10,436	1,855	1,656	76,261
			11,583	11,577	0,006	9,516	1,567		
			12,369	12,363	0,006	9,976	1,547		
		1035	11,679	11,673	0,006	9,516	1,732	1,661	76,201
			11,102	11,097	0,005	9,516	1,320		
			12,192	12,184	0,008	10,436	1,930		
		1285	11,843	11,837	0,006	9,516	1,622	1,625	76,717
			11,970	11,964	0,006	9,976	1,652		
			12,083	12,077	0,006	9,976	1,600		
		1535	11,728	11,721	0,007	9,976	1,783	1,609	76,943
			11,946	11,941	0,005	9,976	1,311		
			10,489	10,483	0,006	9,516	1,732		
		1785	12,360	12,351	0,008	10,896	2,041	2,058	70,501
			11,039	11,031	0,008	9,956	2,076		
			11,976	11,970	0,005	9,956	1,445		
		2035	12,442	12,436	0,005	10,396	1,384	1,443	79,318
			11,008	11,003	0,005	9,056	1,502		
			12,131	12,123	0,008	10,436	2,005		

e. Lingkungan pH 7 dengan Waktu Perendaman 2 Minggu

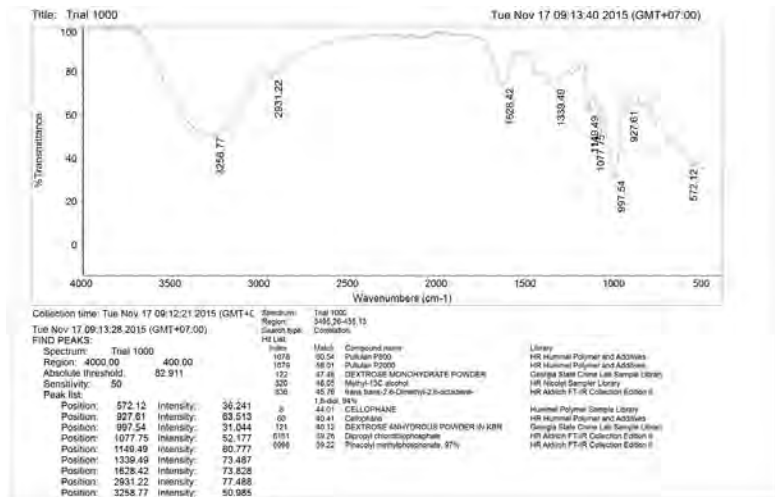
pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
7	2	0	12,428	12,393	0,035	10,896	4,178	4,069	0
			12,339	12,302	0,037	9,956	4,835		
			11,945	11,914	0,032	10,436	3,961		
		785	13,278	13,268	0,011	10,916	1,258	1,364	66,490
			11,993	11,982	0,011	9,976	1,403		
			10,700	10,690	0,010	9,516	1,430		
		1035	11,736	11,726	0,009	9,976	1,232	1,325	67,432
			11,262	11,252	0,011	9,516	1,484		
			11,741	11,731	0,010	9,976	1,259		
		1285	12,342	12,330	0,012	11,396	1,412	1,208	70,318
			11,334	11,327	0,008	9,516	1,045		
			12,261	12,252	0,009	9,976	1,167		
		1535	11,860	11,850	0,010	9,516	1,361	1,153	71,675
			10,901	10,893	0,008	9,516	1,086		
			10,448	10,441	0,007	9,056	1,011		
		1785	10,915	10,906	0,008	9,976	1,114	1,018	74,989
			11,070	11,068	0,002	9,976	0,223		
			11,039	11,032	0,007	9,516	0,921		
		2035	11,173	11,166	0,007	9,976	0,905	0,869	78,641
			11,437	11,431	0,006	9,956	0,775		
			11,366	11,359	0,007	10,436	0,927		

f. Lingkungan pH 7 dengan Waktu Perendaman 3 Minggu

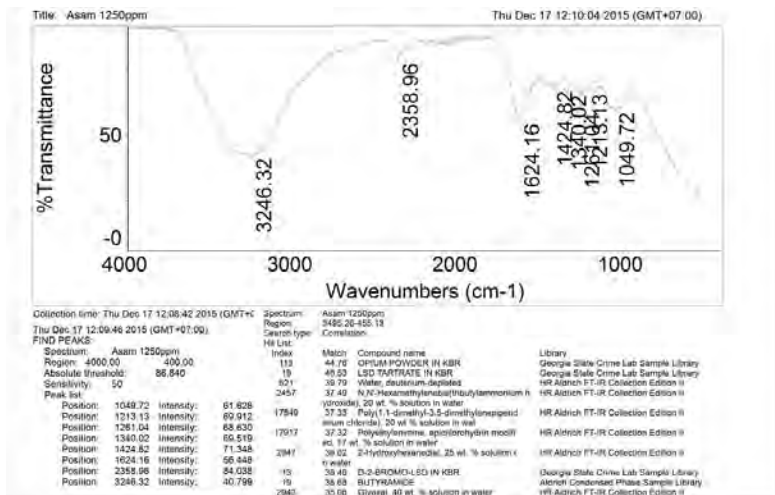
pH	Waktu Rendam (Minggu)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata2 (mpy)	Persen Inhibisi (%)
7	3	0	11,635	11,583	0,051	10,396	4,303	4,551	0
			11,320	11,265	0,055	9,956	4,800		
			12,436	12,393	0,043	10,916	2,395		
		785	12,537	12,517	0,019	11,396	1,469	1,413	68,954
			10,600	10,585	0,015	9,476	1,417		
			11,297	11,283	0,015	9,476	1,353		
		1035	10,494	10,478	0,015	9,476	1,426	1,393	69,398
			10,888	10,873	0,015	9,056	1,464		
			12,653	12,637	0,016	10,896	1,288		
		1285	12,011	11,995	0,016	10,396	1,342	1,472	67,647
			10,332	10,313	0,019	9,516	1,732		
			11,169	11,154	0,015	9,476	1,344		
		1535	12,225	12,209	0,016	10,436	1,345	1,403	69,165
			12,698	12,680	0,018	10,436	1,512		
			12,075	12,058	0,017	10,896	1,352		
		1785	12,210	12,193	0,017	10,396	1,401	1,371	69,872
			12,061	12,043	0,017	10,396	1,459		
			11,488	11,473	0,015	10,436	1,253		
		2035	12,178	12,162	0,016	10,436	1,370	1,371	69,884
			12,331	12,315	0,016	10,896	1,264		
			11,656	11,639	0,017	9,976	1,477		



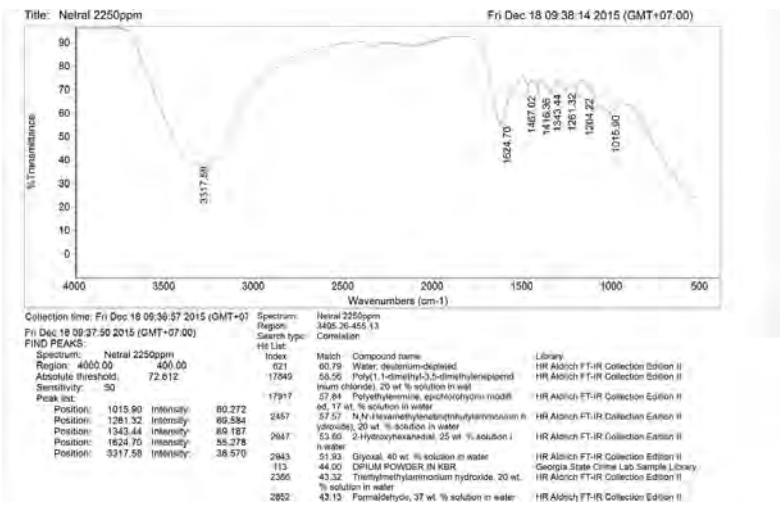
c. FTIR Campuran Ekstrak Daun Jambu Biji dan Tapioka



d. FTIR Sampel Rendam pH 4 + Inhibitor 1035 ppm

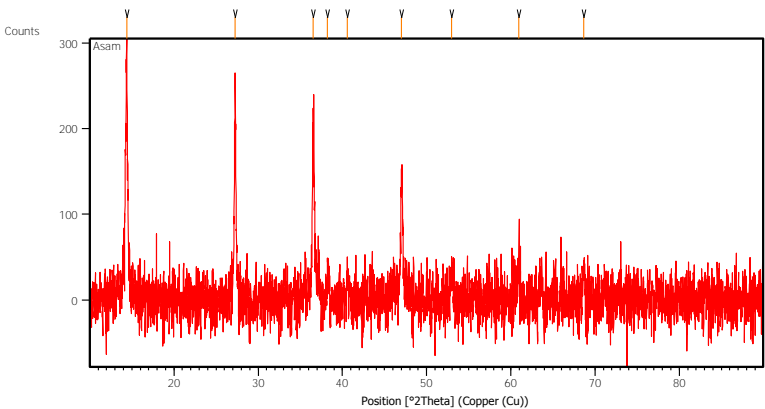


e. FTIR Sampel Rendam pH 7 + Inhibitor 2035 ppm



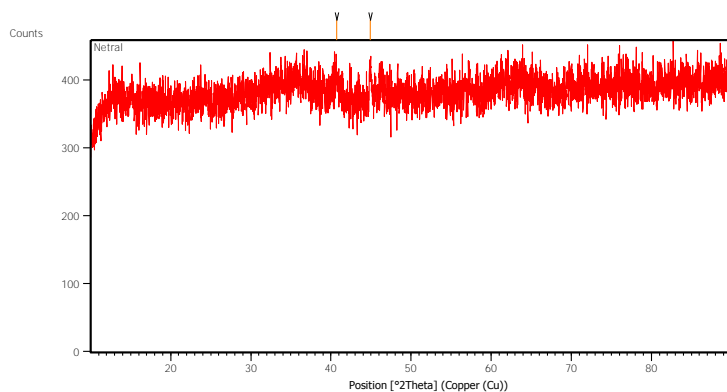
4. Hasil Pengujian XRD

a. XRD Sampel Rendam pH 4



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.3745	288.73	0.1673	6.16193	100.00
27.2516	228.58	0.1004	3.27251	79.17
36.5210	186.90	0.2007	2.46040	64.73
38.2235	32.35	0.4015	2.35464	11.20
40.5916	20.68	0.8029	2.22257	7.16
47.0299	137.64	0.1673	1.93223	47.67
52.9839	44.57	0.4015	1.72828	15.44
60.9533	55.25	0.4015	1.52002	19.13
68.6674	43.34	0.2007	1.36688	15.01

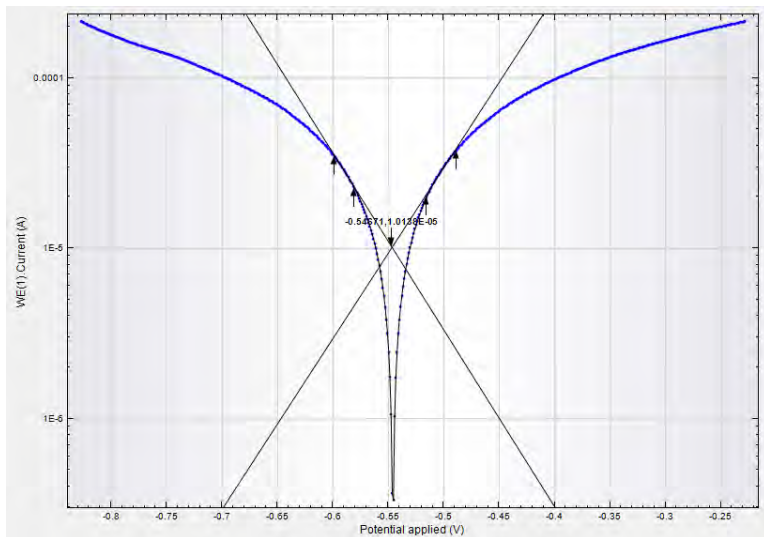
b. XRD Sampel Rendam pH 7



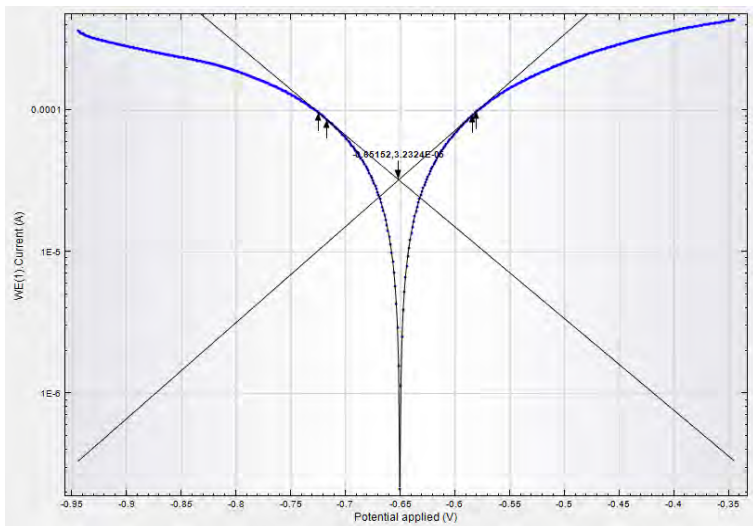
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.7068	29.14	0.8029	2.21655	61.91
44.9138	47.07	0.2007	2.01822	100.00

5. Hasil Pengujian Tafel

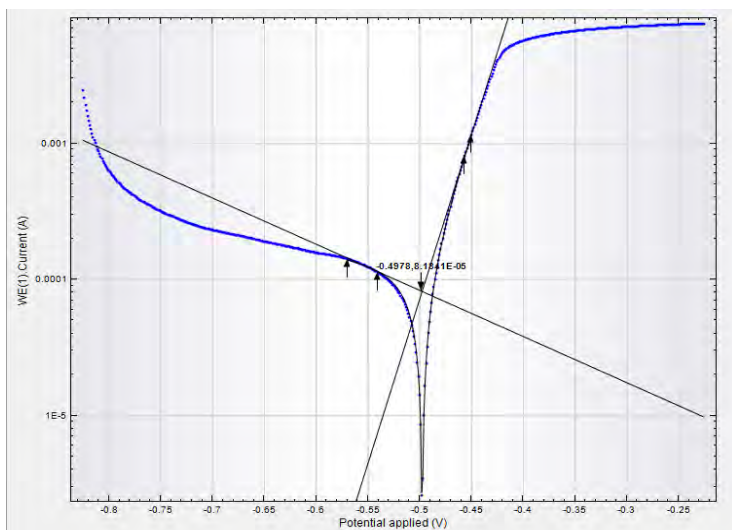
a. Hasil Fitting Kurva Tafel pH 4 + Inhbitor 0 ppm



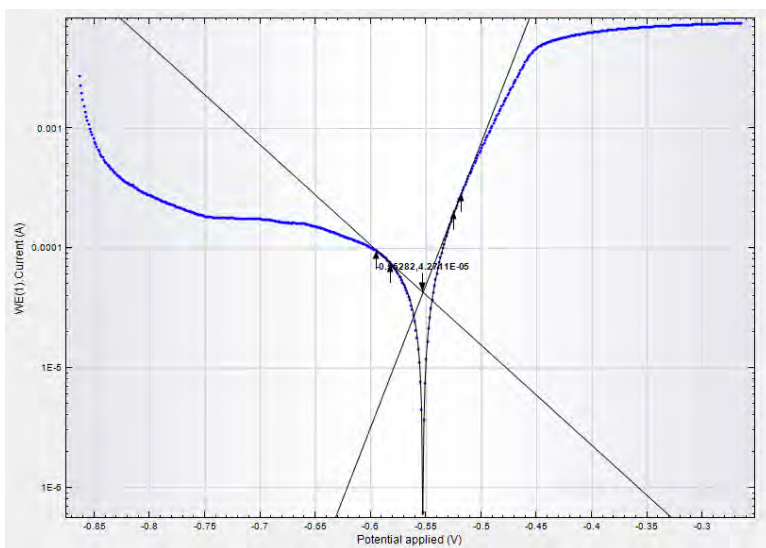
b. Hasil Fitting Kurva Tafel pH 4 + Inhbitor 1035 ppm



c. Hasil Fitting Kurva Tafel pH 7 + Inhibitor 0 ppm

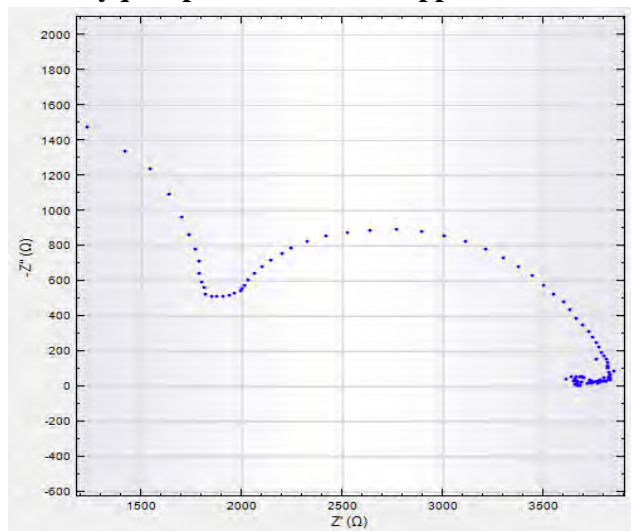


d. Hasil Fitting Kurva Tafel pH 7 + Inhibitor 2035 ppm

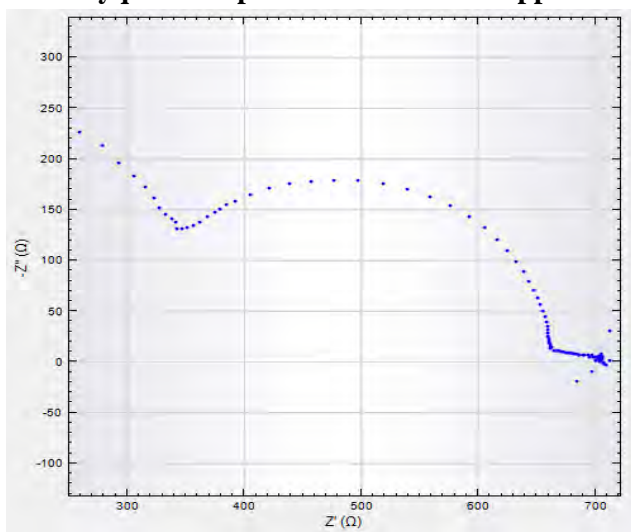


6. Hasil Pengujian EIS

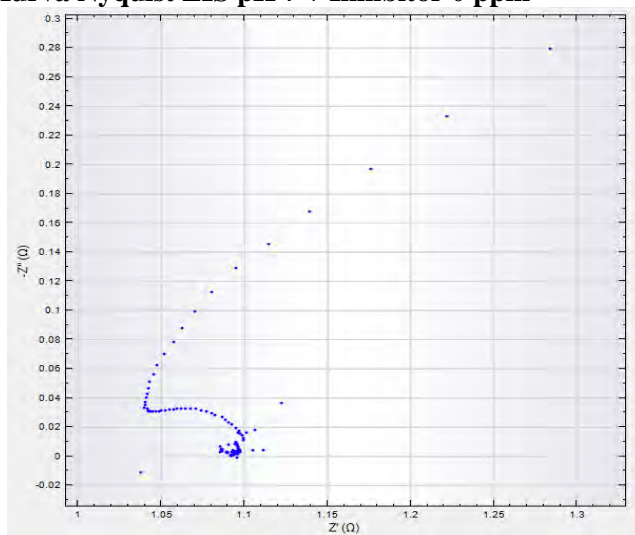
a. Kurva Nyquist pH 4 + Inhibitor 0 ppm



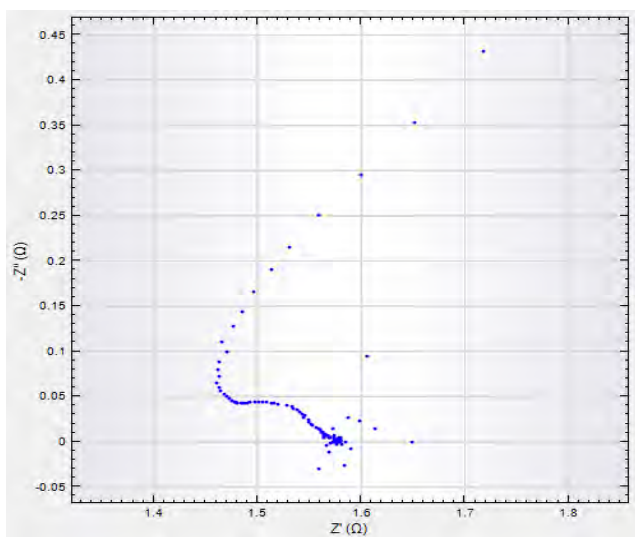
b. Kurva Nyquist EIS pH 4 + Inhibitor 1035 ppm



c. Kurva Nyquist EIS pH 7 + Inhibitor 0 ppm



d. Kurva Nyquist pH 7 + Inhibitor 2035 ppm



DAFTAR PUSTAKA

- A. Groysman. 2010. *Corrosion for Everybody*. Springer Science + Business Media B.
- A.G. Metrohm, Autolab Application Note 19 (*Corrosion: 4 Equivalent Circuit Models*). 2010.
- A.Y. El-Etre. 1998. *Natural Honey as Corrosion Inhibitor for Metals and Alloys. I. Copper in Neutral Aqueous Solution*, Corros. Sci. 40 (1998) 1845–1850.
- Adisty, Randy. 2006. *Kajian Nasi Sorghum sebagai Pangan Fungsional*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian.
- Ali, Farida, dkk. 2014. *Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium guajava, Linn) sebagai Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja SS 304 dalam Larutan Garam dan Asam*. Teknik Kimia No.1, Vol. 20, Januari 2014. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- American Petroleum Institute. 2008. *Summary of Technical Difference between API 5L (43rd ed) and ISO 3183 (2nd ed)/API 5L(44th ed)*.
- Anonim. 1999. *ASTM G1: Standart practice for preparing, cleaning, and evaluation corrosion test specimens*. ASTM international.
- Buckle, K. A., R. A. Edwards, G. H. Fleet dan M. Wooton. 1985. *Ilmu Pangan*. Diterjemahkan oleh H. Purnomo dan Adiono. UI – Press. Jakarta.
- C.C. Nathan. (1979). *Corrosion Inhibitors*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- Cheong, W.J., et.al. 2005. *Determination Of Catechin Compounds In Korea Green Tea Infusions Under Various Extraction Conditions By High Performance Liquid Chromatography*. department of chemistry ang institute of basic research, inha university, bull. Korea chem.sec.2005.vol.26, no.5.

- Cicek, Volkan and Bayan Al-Numan. 2011. *Corrosion Chemistry 1st Edition* Chapter 5.
- Dalimuthe, Indra Surya. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Program Studi Teknik Kimia. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Eid, Salah, et.al. 2014. *Corrosion Inhibition of Aluminum and Aluminum Silicon Alloys in Sodium Hydroxide Solutions by Methyl Cellulose*. Chemistry Department, Faculty of science, Benha University, Benha, Egypt.
- F.G., Andita Nataria, dkk. 2014. *Ekstrak Daun Jambu Biji Sebagai Inhibitor Korosi Baja SS 304 dalam Asam Sulfat*. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Fuhrman, B. dan M. Aviram. 2002. *Polyphenols and Flavonoid Protects LDL against Atherogenic Modifications*. Di dalam: E. Cadenas dan L. Packer (Eds.). *Handbook of Antioxidants*, 2nd Ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Gayon, P.R., et al. 2006. *Handbook of Enology Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments 2nd Edition*. John Wiley & Sons Ltd, England.
- Giner-Chavez, B.I. dan Cannas, A. 2001. *Tannins: Chemical Structural The Structure of Hydrolysable Tannins*.
- Gumelar, Agung Akhmad. 2011. *Studi Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Teh Rosella (Hibiscus Sabdariffa) sebagai Green Corrosion Inhibitor untuk Material Baja Karbon Rendah Di Lingkungan NaCl 3,5% pada Temperatur 50 Derajat Celcius*. Depok: Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Hakim, Alfin Al. 2011. *Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Senyawa Fenolik untuk Proteksi Pipa Baja Karbon Pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 % NaCl yang Mengandung Gas CO₂*. Depok: Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- He, Z. and Mansfeld, F. 2008. *Exploring The Use of Electrochemical Impedance Spectroscopy in Microbial*

- Fuel Cell Studies*. Energy and Environmental Science Vol.2 p. 141-240.
- Hem, J.D. 1960. *Complexes of Ferrous Iron With Tannic Acid*. Chemistry of Iron in Natural Water. Geological Survey Water-Supply Paper 1459-D. United States Government Printing Office, Washington.
- Herawati, Heny. 2011. *Potensi Pengembangan Produk Pati Tahan Cerna Sebagai Pangan Fungsional*. Jurnal Litbang Pertanian, 30(1), 2011.
- Horvart. 1981. *Tannins: Definition*. 2001. Cornert University.
- Hustiany, R. 2006. *Modifikasi Asilasi dan Suksinilasi Pati Tapioka sebagai Bahan Enkapsulasi Komponen Flavor*. Disertasi, Institut Pertanian Bogor.
- Iglesias, J., et al. 2001. *On the Tannic Acid Interaction with Metallic Iron*. Kluwer Academic Publishers.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. 1998. *Hydrothermal Modifications of Granular Starch with Retention of the Granular Structure: Review*. J. Agric. Food Chem. 46(8): 2895–2905.
- Jones, D. A. 1996. *Principles and Prevention of Corrosion (2nd. ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Karim, A.A. dan Yusuf, Z.A. 2012. *Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut*. Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Volume 10, Nomor 2, Juli - Desember 2012.
- Mathur, N. K. 2011. *Industrial Galactomannan Polysaccharides*. CRC Press.
- Matsubara, Eiichiro, S. Suzuki, and Y. Waseda. 2005. *Corrosion Mechanism of Iron from an X-ray Structural Viewpoint*. Advances in Materials Research 106-129.
- Meister, John. 2000. *Polymer Modification: Principles, Techniques, and Applications*, 191. CRC Press.

- Oates, C.G. 1997. *Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis*. Review. Trends Food Sci. Technol. 8: 375–382.
- Paksi, Dekanita E. 2015. *Pengaruh Penambahan Suplemen Vitamin C pada Inhibitor Ekstrak Kulit Kacang Tanah Terhadap Performa Proteksi Korosi Baja API 5L Grade B di Lingkungan Asam dan Netral*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pramana, Rakhmad Indra. 2012. *Studi Ekstrak Daun Beluntas (Pluchea Indica Less.) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3,5% NaCl*. Depok: Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Priest, D., 1992, *Measuring Corrosion Rates Fast*, J. Chemical Engineering, 169-172.
- Qian He, Nihorimbere Venant. 2004. *Antioxidant Power of Phytochemicals From Psidium guajava Leaf*. Journal of Zhejiang University Science. Department of Food Science and Technology, Functional Foods Research Center of Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China.
- Rahim, A.A. dan Kassim, Jain. 2008. *Recent Development of Vegetal Tannins in Corrosion Protection of Iron and Steel*. Penang: School of Chemical Sciences, Universiti Sains Malaysia.
- Rivai, Harrizul, dkk. *Pengaruh Perbandingan Etanol-Air sebagai Pelarut Ekstraksi terhadap Perolehan Ekstaktif, Kadar Senyawa Fenolat dan Aktivitas Antioksidan dari Daun Jambu Biji (Psidium guajava Linn.)*. Universitas Andalas, Padang.
- Robinson, T. 1995. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Penerjemah: Kosasih Padmawinata. Bandung: ITB.

- Rosliza, R. and Nik, W.B. Wan. 2009. *Improvement of corrosion resistance of AA6061 alloy by tapioca starch in seawater*. Current Applied Physics.
- Rosliza, R. and Nik, W.B. Wan. 2013. *Anti-Corrosive Performances of Natural Products on Al-Mg-Si Alloy*. International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICIET'2013) Dec. 25-26, 2013 Bangkok (Thailand).
- Sa'adah, Lailis. 2010. *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Tanin dari Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L.)*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Santoso, Rendy Wahyu. 2011. *Pengaruh Konsentrasi CH_3COOH Terhadap Karakterisasi Korosi Baja BS 970 di Lingkungan CO_2* . Jurnal Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Shahidi, F. dan M. Nacz. 1995. *Food Phenolics*. Technomic Pub.Co. Inc., Lancaster-Basel.
- Siagian, Fritz Ryandi. 2010. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Inhibitor Tapioka terhadap Laju Korosi dan Perilaku Aktif Pasif Stainless Steel AISI 304 dalam Media Air Laut Buatan*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tanasale, Matheis, dkk. *Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B oleh Karbon Aktif dari Kulit Durian (Durio zibethinus)*. Ambon: Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Pattimura.
- V.F.Civan 2001. *Modelling Well Performance Under Non Equilibrium Deposition Condition*, SPE 67234. SPE Production and Operation Symposium. Oklahoma, USA.
- Von Elbe, J. H. Dan Steven J. Shwartz. 1996. *Colorants*. Di Dalam: Fennema, O. R. (Ed.). Food Chemistry, 3rd Ed. Marcel Dekker Inc., New York.
- Wardoyo, Joko Tri. 2005. *Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Fasa Ganda*, TEKNOIN, Vol. 10 No. 3, 2005.

- Whitney, E. N., Hamilton , E. M. N. dan S. R. Rolfes. 1990. *Understanding Nutrition, 5th ed.* West Publishing, New York.
- Winarno, F. G., 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Cetakan ke-XI. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Wood, Douglas J. (1993). *The Characterization of Particulate Debris Obtained from Failed Orthopedic Implants*. College of Materials Engineering San José State University.
- Y. Yan, W. Li, L. Cai, and B. Hou. 2008. *Electrochemical and Quantum Chemical Study of Purines as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1 M HCl Solution*. *Electrochimica Acta*, vol. 53, no. 20, pp. 5953–5960.
- Yanpieter, Koresy M. 2011. *Pengaruh Konsentrasi Ubi Ungu sebagai Inhibitor Ramah Lingkungan untuk Material Karbon Rendah dalam Larutan NaCl Kadar 3,5% pada Temperatur 50°C*. Depok: Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- Zulfikar, Vicky. 2014. *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Jambu Biji Dan Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Baja Api 5L Grade B Schedule 80 Dalam Media Air Laut*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ifitahul Fariha Yuliarti, merupakan anak pertama dari pasangan Budiharto dan Istiqomah yang lahir di Banyuwangi 25 Juli 1994. Penulis menyelesaikan studi formalnya di MI Hidayatul Mubtadiin, SMP Negeri 1 Banyuwangi dan SMA Negeri 10 Malang Sampoerna Academy. Penulis kemudian melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI) ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN.

Semasa kuliah penulis aktif di beberapa organisasi mahasiswa dan kepanitiaan. Penulis aktif di LDJ Ash-Habul Kahfi sebagai Staf Kaderisasi tahun 2012/2013. Selain itu, penulis juga aktif di HMMT FTI-ITS sebagai sekretaris Unit Kerja Khusus tahun kepengurusan 2013/2014 dan menjabat sebagai Kepala Unit Kerja Khusus pada tahun kepengurusan 2014/2015. Di luar jurusan, penulis aktif di kepanitiaan ITS Expo 2013 dan ITS Expo 2014. Penulis pernah menjadi juara 2 pada kompetisi *business plan* dengan judul *business plan* “Binder Saklop: Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Buku Binder dengan Motif Kebudayaan Indonesia”. Selain itu, penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT Dirgantara Indonesia, Bandung. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini, penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 087857441039 atau bisa dihubungi di alamat email thata.fariha@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)